



Nota verdere uitwerking Willebroek, Meijerbroek

Titel

Nota verdere uitwerking Willebroek, Meijerbroek

Auteur(s)

Yves Perdaen, Frederike Verbrugge, Kirsten Van Kappel en Inger Woltinge

Erkende archeoloog

BAAC Vlaanderen bvba
OE/ERK/Archeoloog/2015/00020

BAAC-Projectnummer

2023-0379

Plaats en datum

Evergem, 24 juli 2026

Reeks en nummer

BAAC Vlaanderen Rapport 3321
ISSN 2033-6896

Wettelijk depot

KBR

Inhoud

1	Beschrijvend gedeelte	1
1.1	<i>Administratieve gegevens</i>	<i>1</i>
1.2	<i>Archeologische voorkennis</i>	<i>4</i>
1.2.1	Samenvatting bureauonderzoek (2020F263)	4
1.2.2	Samenvatting landschappelijk bodemonderzoek (2021D373)	4
1.2.3	Samenvatting Archeologisch booronderzoek (2021F211 & 2021G143)	5
1.3	<i>Onderzoeksopdracht</i>	<i>5</i>
1.3.1	Onderzoeksdoelstelling.....	6
1.3.2	Onderzoeksvragen	6
1.3.3	Randvoorwaarden	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
1.3.4	Geplande werken en bodemingrepen	7
1.4	<i>Werkwijze en strategie</i>	<i>11</i>
1.4.1	Methode en technieken.....	11
1.4.2	Organisatie van het natuurwetenschappelijk onderzoek.....	14
1.4.3	Afwijkingen uitvoer onderzoek.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
1.4.4	Inbreng specialisten en externe wetenschappelijke begeleiding.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2	Bodem en paleolandschap	24
2.1	<i>Paleolandschappelijk en bodemkundig kader</i>	<i>24</i>
2.2	<i>Beschrijving lithologie en monsternames boringen</i>	<i>24</i>
2.2.1	B.1008: noordelijke geul	24
2.2.2	B.1016: zijgeul of depressie.....	27
2.2.3	B.1017: overgang oostelijke rug en zijgeul	29
2.2.4	B.1018: top oostelijke rug.....	31
2.2.5	B.1012: transect oostelijke rug	33
2.2.6	B.1014 transect oostelijke rug	35
2.2.7	B.1005: top westelijke rug	37
2.2.8	B.1002: transect westelijke rug.....	39
2.2.9	B.1001: transect westelijke rug.....	41
2.3	<i>Beschrijving en analyse micromorfologische monsters</i>	<i>43</i>
2.3.1	B.1003A	43
2.3.2	B.1011A	43
2.4	<i>Abiotische landschap: resultaten en interpretatie daterend, sedimentologisch en bodem-</i> <i>micromorfologisch onderzoek</i>	<i>44</i>
2.4.1	Veevorming tussen de ruggen	44
2.4.2	De kronkelwaardrug	45
2.4.3	Veevorming in de noordelijke geul en daarbuiten	52
2.5	<i>Biotische landschap: resultaten en interpretatie paleo-ecologisch onderzoek</i>	<i>54</i>
2.5.1	Inleiding	54
2.5.2	Laat-neolithicum	57
2.5.3	Finaal-neolithicum	61
2.5.4	Vroege bronstijd?.....	65
2.5.5	Midden-bronstijd	67
2.5.6	Regionale vergelijking.....	70
3	Synthese onderzoeksresultaten	72
3.1	<i>Datering en interpretatie van de vindplaats.....</i>	<i>72</i>
3.1.1	Algemeen	72

3.1.2	Landschap en menselijke invloed.....	72
3.2	Confrontatie met resultaten archeologisch onderzoek.....	74
3.3	Onderzoeksvragen: antwoorden	75
4	Samenvatting	80
5	Lijsten	81
5.1	Figurenlijst	81
5.2	Plannenlijst	83
5.3	Tabellenlijst.....	83
6	Bibliografie.....	85
7	Bijlagen.....	90

1 Beschrijvend gedeelte

1.1 Administratieve gegevens

Naam site	Willebroek, Meijerbroek		
Ligging	Rupeldijk (Sigmadijk), deelgemeente Heindonk, gemeente Willebroek, provincie Antwerpen		
Kadaster	Willebroek, Afdeling 3/Heindonk, Sectie B, Percelen 296A, 298A, 294A, 204G, 292, 297, 232B, 224A, 223, 219K en openbaar domein		
Coördinaten	Noordwest:	x: 152818,94	y: 195953,51
	Noordoost:	x: 153152,38	y: 195953,51
	Zuidwest:	x: 152818,94	y: 195324,25
	Zuidoost:	x: 153152,38	y: 195324,25
Projectnummer BAAC Vlaanderen	2023-0379		
ID Archeologienota	ID 17950 ¹		
	ID 24968 ² (aanpassing)		
ID Nota	ID 24783 ³		
Nota verdere uitwerking	Projectcode		
	Erkende archeoloog	BAAC Vlaanderen bvba (Erkenningsnummer: OE/ERK/Archeoloog/2015/00020)	
	Betrokken actoren	Yves Perdaen (archeoloog) Frederike Verbruggen (specialist paleo-botanie) Kirsten van Kappel (specialist micromorfologie)	
	Betrokken derden	BIAX ArcheoPro Nederlands Centrum voor Luminescentiedatering (NCL)	
	Uitvoertermijn	Maart - december 2025	

Alle in dit document gebruikte plannen zijn afkomstig uit de catalogus van Geopunt Vlaanderen⁴ of het portaal Databank Ondergrond Vlaanderen⁵, tenzij anders vermeld.

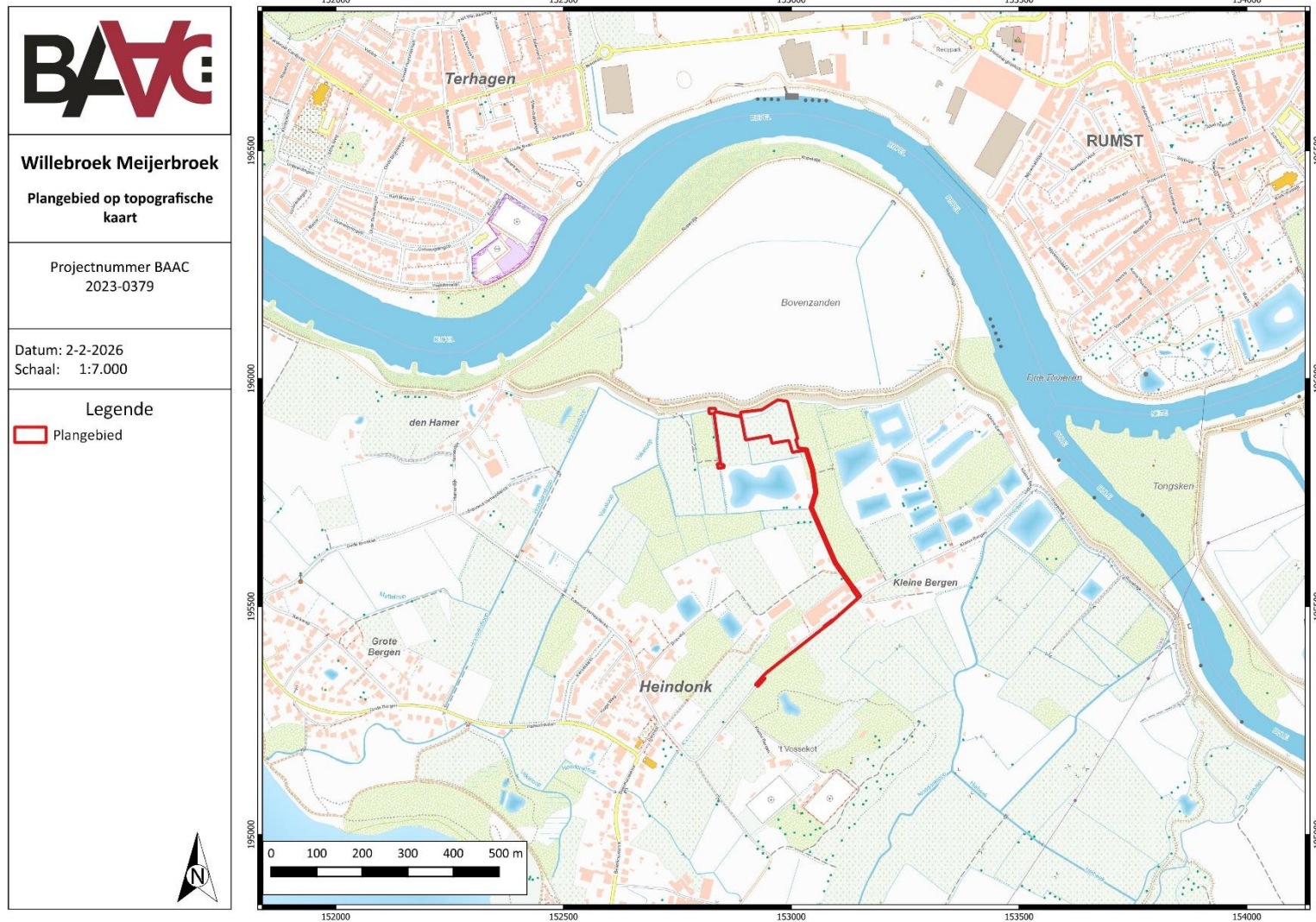
¹ ZWITSER & SAELENS 2021.

² VAN DER DOOREN 2023.

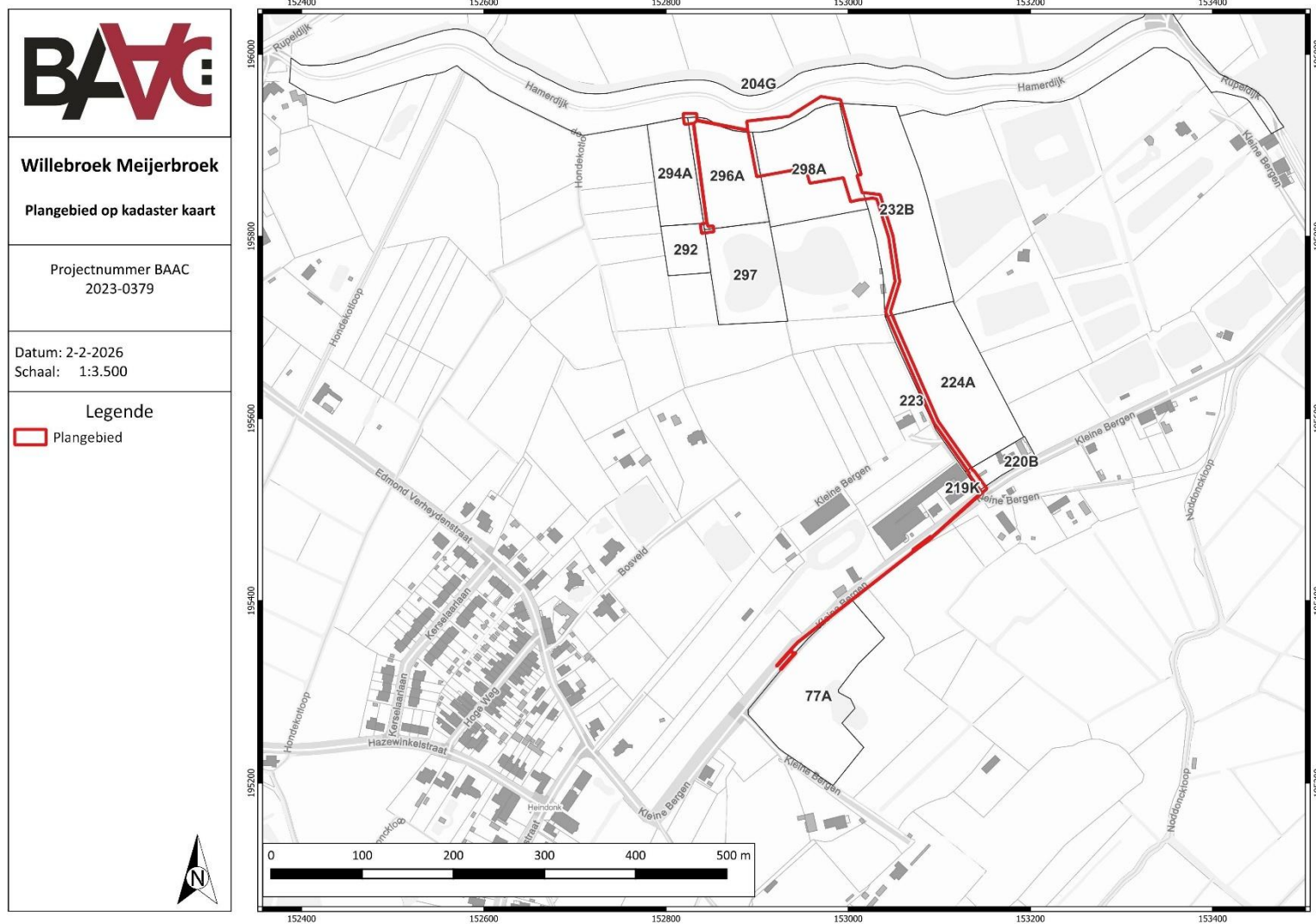
³ OP DE BEECK et al. 2022.

⁴ GEOPUNT VLAANDEREN 2024 – administratief, historisch, orthofotografisch.

⁵ DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN 2025 – geografisch.



Plan 1: Plangebied op topografische kaart (digitaal; 1:10.000; 02.02.2026)



Plan 2: Plangebied op kadasterkaart (GRB) (digitaal; 1:250; 02.02.2026)

1.2 Archeologische voorkennis

1.2.1 Samenvatting bureauonderzoek (2020F263)

In 2021 werd naar aanleiding van een omgevingsvergunningsaanvraag voor stedenbouwkundige handelingen voor het plangebied Willebroek, Meijerbroek door BAAC Vlaanderen bvba een archeologienota opgemaakt (ID 17950)⁶. Er werd een bureauonderzoek en een geofysisch onderzoek uitgevoerd in het kader van de archeologienota.

De synthese van de archeologienota luidt als volgt:

"Het plangebied is gelegen in de vallei van de Rupel, ter hoogte van een zeer natte kleibodem zonder profielontwikkeling. Op basis van het bureauonderzoek kon een verhoogde archeologische verwachting opgesteld worden voor alle perioden en voornamelijk voor steentijdsites. Om de aardkundige opbouw, ontstaansgeschiedenis en bewaringstoestand van het bodemarchief en het landschap beter in kaart te brengen in functie van het archeologische potentieel werd in eerste instantie een geofysisch onderzoek uitgevoerd op het terrein. Dit ook ter controle, aanvulling en verfijning van de inzichten van het bureauonderzoek. Het geofysische onderzoek werd uitgevoerd aan de hand van een niet-destructieve geofysische prospectie op basis van elektromagnetische inductie.

Het geofysische onderzoek (2020F265) kon verschillende landschappelijke zones vaststellen in het plangebied waarbij er een dikke klei-aanrijking aanwezig is in het noorden en deze vermindert in zuidelijke richting tot een eerder zandige bovengrond. In de gebieden die in het vroegere landschap lokale, natte depressies waren is de kans kleiner op het aantreffen van archeologische sporen van prehistorische ouderdom. Indien deze zones vroegere meanders of geulen van de Rupel voorstellen, kan het zijn dat de archeologische niveaus geërodeerd en aangetast zijn. Indien de niveaus bewaard zijn, zijn deze zones echter nog bijzonder waardevol omdat de sites beter geconserveerd worden in natte omstandigheden en onder een dikke laag klei. Een landschappelijk bodemonderzoek moet hier meer informatie over verschaffen."⁷

1.2.2 Samenvatting landschappelijk bodemonderzoek (2021D373)

In navolging van deze archeologienota werd in 2022 vervolgens een nota opgemaakt (ID 24783)⁸. Het uitgesteld vooronderzoek waarvan deze nota verslag doet, omvatte een landschappelijk bodemonderzoek en een verkennend en waarderend archeologisch booronderzoek.

De synthese van het landschappelijk bodemonderzoek luidt als volgt:

"Tijdens het landschappelijk bodemonderzoek kon de aanwezigheid van een zandrug onder een veenpakket vastgesteld worden. Ter hoogte van deze zandrug is het potentieel op steentijdarcheologie groot. De bovenliggende afzettingen zijn niet gunstig voor recentere archeologie wegens hun zeer nat afzettingsmilieu."⁹

⁶ ZWITSER & SAELENS 2021.

⁷ ZWITSER & SAELENS 2021, VvR, p. 56.

⁸ OP DE BEECK et al. 2022.

⁹ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, p. 77.

1.2.3 Samenvatting archeologisch booronderzoek (2021F211 & 2021G143)

Bijgevolg werd overgegaan tot een archeologisch booronderzoek ter hoogte van de zandrug, die als een vermoedelijke kronkelwaardrug werd geïnterpreteerd.

De synthese van het archeologisch booronderzoek luidt als volgt:

"Zowel het geofysische als landschappelijk bodemonderzoek evenals het verkennend archeologisch booronderzoek wijzen op de aanwezigheid van een begraven en goed bewaard archeologisch niveau in het plangebied. Na afloop van het verkennend archeologisch booronderzoek is niet helemaal duidelijk of hierop een prehistorische nederzetting aanwezig is, maar het is wel waarschijnlijk. Er werden verschillende twijfelachtige en/of secundaire indicatoren aangetroffen. En het is vooral de variatie aan ingezamelde materiaalcategorieën wat op het uitzonderlijk potentieel op kennisvermeerdering wijst.

Na afloop van het waarderend archeologisch booronderzoek werd, net zoals bij het verkennend archeologisch booronderzoek vooral twijfelachtige/secundaire informatie ingezameld. Toch staat een prehistorische aanwezigheid onomstotelijk vast. De aanwezigheid van niet-verkoolde macroresten (hazelnoot, klimop, ... maar ook bot) of aardewerk is gezien de context zeer waarschijnlijk, maar kon voorsnog niet op overtuigende wijze worden vastgesteld. Gezien de vaak twijfelachtige/secundaire informatie blijft de interpretatie van het onderzoeksterrein dus zeer moeilijk. Duidelijke vondstclusters zijn niet aangeboord, de verschillende vondsten komen vaak geïsoleerd voor. Alleen bijkomend onderzoek kan achterhalen of hier effectief sprake is van een nederzetting.

Het uitgevoerde vooronderzoek maakt wel reeds duidelijk dat in het plangebied een begraven en goed bewaard archeologisch niveau aanwezig is met hierin de resten van een prehistorische vindplaats. In de top van een vermoedelijke kronkelwaardrug zijn naast vuursteen, gecalcineerd bot en verkoolde hazelnootdopen mogelijk ook nog aardewerkfragmenten en niet-verkoolde macroresten aanwezig. Deze vondsten bieden een uitzonderlijke inkijk in het (a)biotisch landschap en de exploitatie ervan ten tijde van de prehistorische occupatie. Daarnaast bieden deze vondsten goede perspectieven voor zowel typo- als technologische analyse, grondstofanalyses, ruimtelijk onderzoek evenals betere inzichten in de typonologie. Het potentieel op kennisvermeerdering is met andere woorden bijzonder groot. Over de aard en datering van de vindplaats kunnen voorsnog geen uitspraken worden gedaan. Het vermoeden is groot dat het om een meervoudige occupatie gaat (mesolithicum-neolithicum); de verschillende materiaalcategorieën en de vergelijking met vindplaatsen in de buurt met een vergelijkbare landschappelijke positie maakt dit waarschijnlijk."¹⁰

1.3 Onderzoeksopdracht

De voor de hand liggende volgende onderzoekstap is een waarderend proefputtenonderzoek, al dan niet gevolgd door een opgraving en/of *in situ* bewaring. Echter, de uitzonderlijke omstandigheden met betrekking tot het plangebied maakten een dergelijke aanpak niet mogelijk. Om het verlies aan kenniswinst enigszins te beperken werd daarom ingezet op **natuurwetenschappelijk onderzoek**, waarbij de klemtoon niet langer komt te liggen op het verzamelen van archeologische resten, maar op het paleolandschappelijk kader waarbinnen de vindplaats is gelegen.

¹⁰ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, p. 77.

1.3.1 Onderzoeksdoelstelling

De resultaten van het archeologisch vooronderzoek maakten duidelijk dat in het plangebied een zandrug - een vermoedelijke kronkelwaardrug - aanwezig is die aan de noordzijde geflankeerd wordt door een verlandde paleogeul. De zandrug zelf wordt op zijn beurt door- of ingesneden door een ondiepe geul of depressie; mogelijk een zijarm van de Rupel, Dijle of Nete of een geul die met de heractivatie van één van deze rivieren in verband moet worden gebracht. De genese van zowel de depressie als de zandrug is vooralsnog onduidelijk.

Het natuurwetenschappelijk onderzoek richt zich op het creëren van een paleolandschappelijk kader waarbinnen de vindplaats, en bij uitbreiding ook de vindplaatsen in de buurt, kunnen worden ingepast. De klemtoon ligt hierbij op het verder karakteriseren en dateren van zowel de zandrug(gen) als de geulen/depressies binnen het plangebied, met daarbij aandacht voor hun genese, het veranderende landschap en de evolutie van de vegetatie.

De bekomen resultaten staan niet op zich, ze vormen een aanvulling op eerder gevoerd onderzoek in de regio, met name in het kader van het Sigmaproject¹¹ of de opgraving in Heindonk-Tien Vierendelen¹². Mogelijk brengen de analyses bepaalde patronen aan het licht die met de exploitatie van het gebied in verband kunnen worden gebracht (bijv. aanwijzingen voor kleinschalige landbouw) of duiken zaken op die een ander beeld werpen op het gebied en/of bijkomend onderzoek vragen (bijv. in het kader van toekomstig syntheseonderzoek). Daarnaast is het onderzoek ook van bovenregionaal belang, met name met betrekking tot de inzichten in de evolutie van het Scheldebekken.¹³

1.3.2 Onderzoeksvragen¹⁴

- Wat is de genese en ouderdom van de onderscheidbare bodemkundige en geologische lagen?
- Hoe kaderen de bevindingen omtrent de opbouw en de genese van de bodem binnen de kennis over het ruimere paleolandschap?
- Was de kronkelwaardrug reeds tijdens de prehistorische occupatie aanwezig? Of heeft deze een deel van de vindplaats opgeruimd? (daterend onderzoek OSL)
- Wanneer heeft de rug zich gevormd? (OSL, textuur/LOI, micromorfologie)
- Was de kronkelwaard geschikt voor menselijke bewoning?
- Is er sprake van erosie? Op basis van de afdekking met veen en klei gaan we er van uit dat de top gaaf bewaard is gebleven, maar is dit wel zo? Misschien heeft de menselijke aanwezigheid wel voor een (gedeeltelijke) vernietiging van de begroeiing gezorgd, met een kale ondergrond tot gevolg (met andere woorden een ondergrond die gevoelig was voor erosie).
- Hoe was het landschap en de vegetatie voor, tijdens en na de perioden waarvoor menselijke aanwezigheid in het plangebied wordt verondersteld?
- Welke conclusies kunnen er op basis van de archeobotanische en archeozoölogische resten worden getrokken met betrekking tot de exploitatie van het landschap, de voedselvoorziening of het specifiek gebruik van de aangetroffen resten?

¹¹ BOGEMANS et al. 2010; MEYLEMANS et al. 2014.

¹² PERDAEN & WOLTINGE 2023.

¹³ MEYLEMANS et al. 2013.

¹⁴ OP DE BEECK et al. 2022, PVM, p. 7.

- Hoe verhouden de aangetroffen archeologische resten en/of indicatoren zich tot de gekende archeologische site(s) in de regio?
- Welke aanvullende kennis ten opzichte van voornoemde site(s) is verkregen uit huidig onderzoek?

1.3.3 Geplande werken en bodemingrepen¹⁵

Algemeen

De opdrachtgever plant op het terrein de uitgraving van een plas en de aanleg van een strook ruigtevegetatie. Hierbij worden eventueel in het plangebied aanwezige archeologische waarden onherroepelijk vernietigd. De aard en omvang van de ingrepen worden hieronder beschreven.

De voornaamste ingreep op het terrein bestaat uit de uitgraving en een eutrofe plas van ca. 5.500 m² en dit ter hoogte van perceel 298A. Voor de uitgraving van de plas wordt, ter hoogte van het diepste punt ervan, het hooiland afgegraven tot op -1,5 m TAW. Ca. 580 m² van de nieuwe poel die uit eutroof water bestaat, zal een diepte bereiken tot -1,5 m TAW. Bij de oostelijke snede wordt de plas aangelegd met een zachte helling waarbij aan de kant van de Sigmadijk de helling 20% bedraagt en aan de andere kant 10%. Bij de westelijke snede wordt de plas aangelegd met een steile helling van 20% langs de zijde van de Sigmadijk en 20 % aan de andere zijde. Er wordt oeverrandbegroeiing voorzien, namelijk een rietkraag.

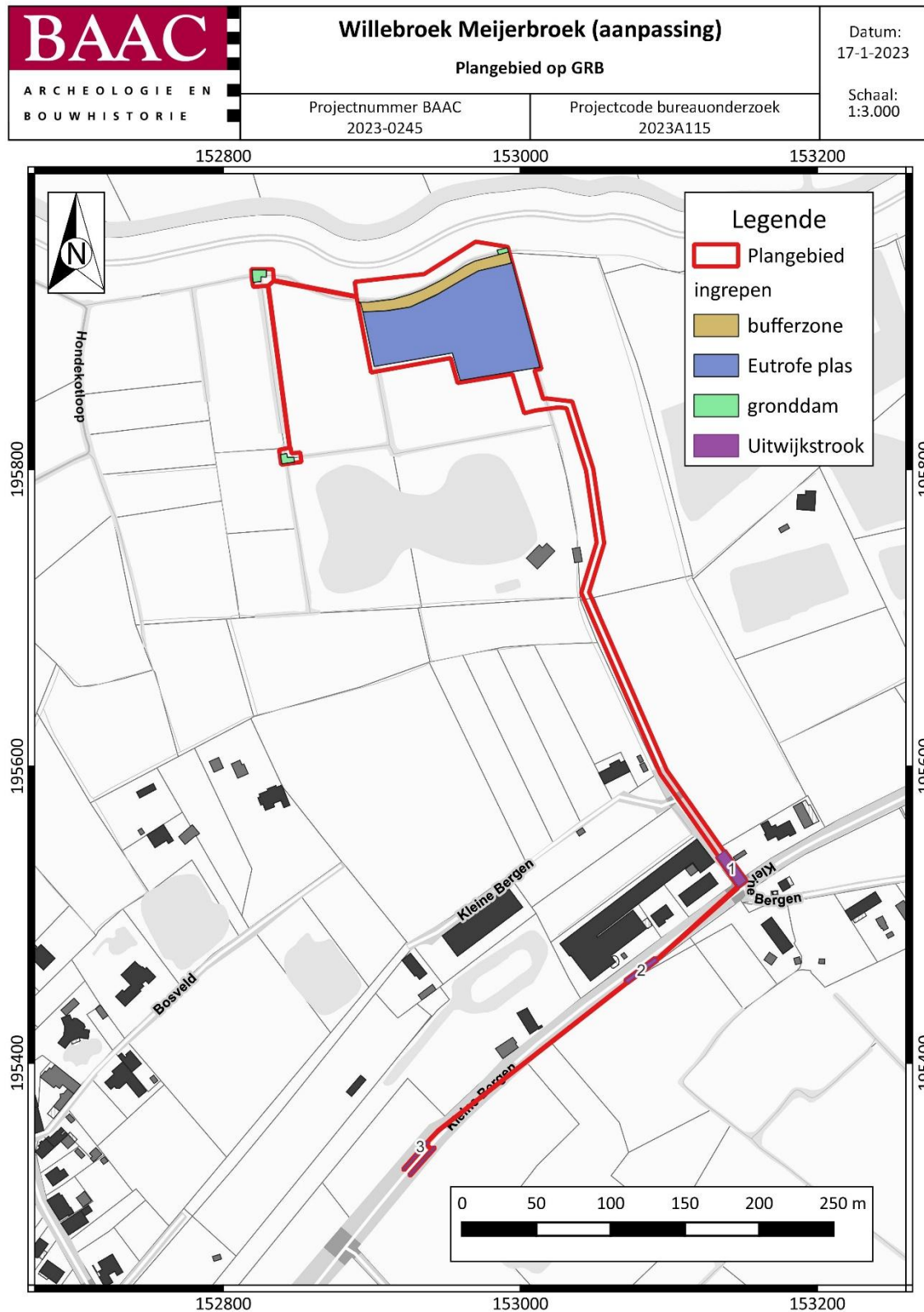
Voor de uitgraving van de plas water worden de bomen aan de westelijke zijde van de nieuwe plas gerooid, op enkele solitaire bomen na. Verder worden de aansluitende grachten afgekoppeld door middel van een enkele bermpjes.

Naast de uitgraving van de plas wordt een strook hooiland omgevormd tot ruigtevegetatie als buffer tussen de teen van de dijk en de plas water. De buffer is ca. 10 m breed en heeft een oppervlakte 730 m². De gracht aan de teen van de dijk blijft behouden (zie doorsnede). De bomen aan de zuidkant van deze gracht dienen gerooid te worden. Hiervoor dienen de houtkanten gerooid te worden.

Er wordt een werfontsluiting gepland van de straat het Bosveld naar de straat Kleine Bergen, ten zuiden van de eutrofe plas. De werfontsluiting wordt grotendeels gerealiseerd via rijplaten. Hier en daar zal het terrein oppervlakkig uitgevlakt worden. Op enkele locaties wordt wat struikgewas weggenomen en enkele bomen gesnoeid. Het meest zuidelijke deel van de werfontsluiting is reeds in steenslag. De impact met betrekking tot bodemingrepen is hierbij echter minimaal.

Ook worden drie gronddammen voorzien, waarbij de gracht iets opgehoogd wordt. Dit in de noordoostelijke, noordwestelijke en zuidwestelijke hoek van het terrein (totaal ca. 136 m²).

¹⁵ VAN DER DOOREN 2023, VvR, pp. 9-13.



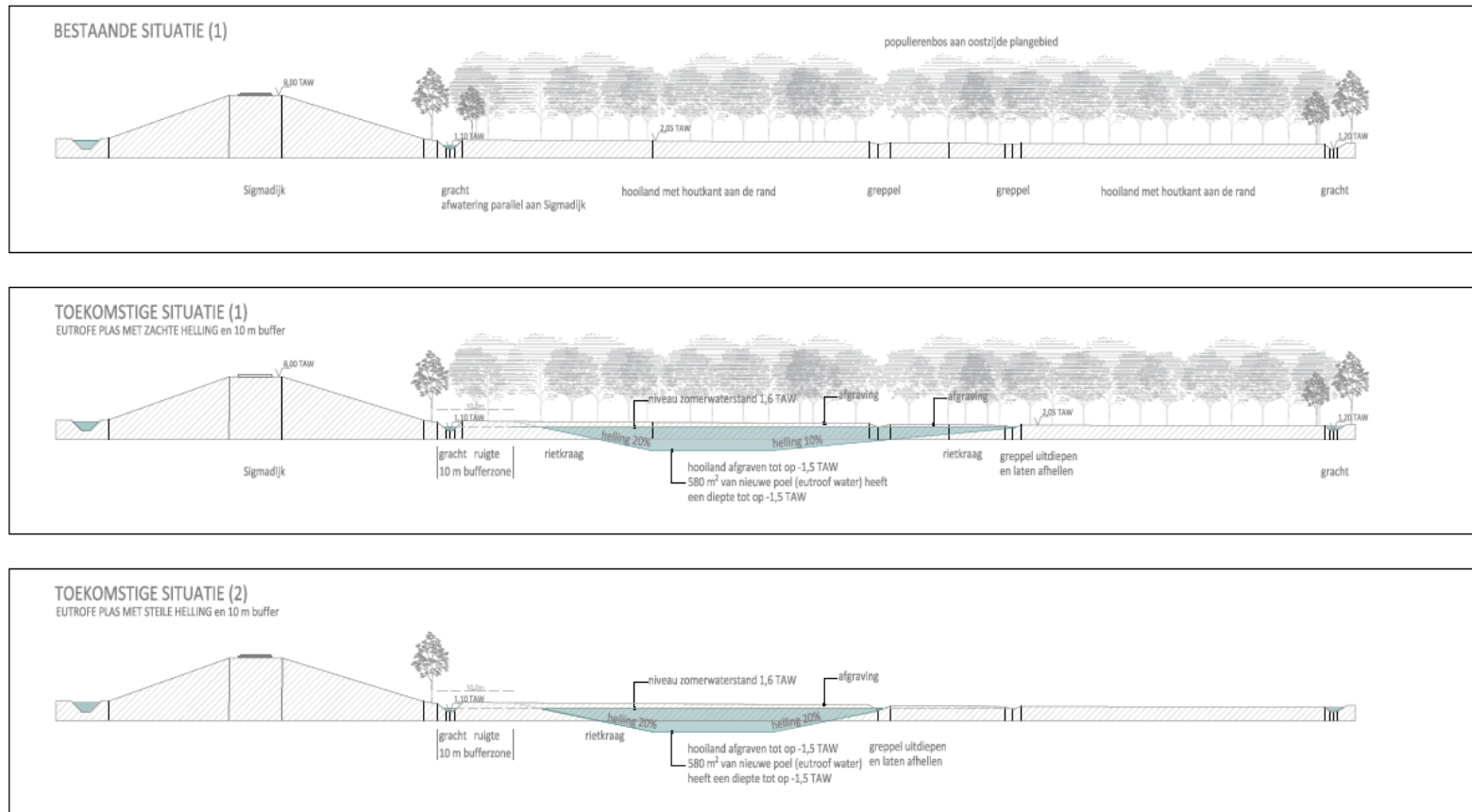
Figuur 1: Plangebied met schematischweergave van toekomstige inplanting op orthofoto¹⁶

¹⁶ VAN DER DOOREN 2023, VvR, Plan 5.



Figuur 2: Toekomstige inplanting¹⁷

¹⁷ VAN DER DOOREN 2023, VvR, Figuur 1.



Figuur 3: Doorsnede van de toekomstige inplanting¹⁸

¹⁸ VAN DER DOOREN 2023, VvR, Figuur 2.

Tot slot zullen in Kleine Bergen en ter hoogte van de aansluiting tussen Bosveld en Kleine Bergen enkele uitwijkstroken worden voorzien om de passage van het verkeer in Kleine Bergen op een veilige manier te kunnen organiseren. De stroken hebben een lengte van 25 m en een breedte tussen 1 en 2,5m. Ze worden uitgevoerd in halfverharding dewelke maximaal 50 cm dikte heeft. Ze zijn uiteraard tijdelijk van aard en worden aangelegd net naast de bestaande wegenis.

Impactanalyse

De aanleg van de eutrofe plas zal zeker een impact op het archeologisch bodemarchief hebben. Het bodempeil van de plas zal op een TAW waarde van -1,5 m liggen. De plas wordt in de ene situatie afgegraven met een helling van 20% of met een helling van 20% aan de ene kant en 10% aan de andere kant. In totaal zal een oppervlakte van ca. 5.500 m² afgegraven worden. Ca. 580 m² van de nieuwe plas zal een diepte bereiken tot -1,5 m TAW.

De huidige TAW waarden op de uit te graven zone liggen tussen + 2 en + 2,35 m TAW. Bijgevolg zal ter hoogte van de plas een maximale uitgraving van ca. 4 m plaatsvinden. De archeologische resten bevinden zich op een diepte van ca. 0,6 m tot ca. 2,0 m -mv (ca. + 160 tot + 0 m TAW) en zullen dus onherroepelijk worden vernietigd.

Ter hoogte van de werfontsluiting is er slechts sprake van een minimale impact.

De uitwijkstroken (1, 2 en 3) kennen een verstoringsdiepte van 50 cm onder maaiveld en kennen de volgende afmetingen:

Nr.	Aantal	afmetingen
Nr. 1	2	1,5 m x 25 m
Nr. 2	1	2,5 m x 25 m
Nr. 3	2	1 m x 25 m

Deze zone is reeds sterk vergraven als gevolg van de aanleg van de weg (Kleine Bergen) en bijhorende infrastructuurwerken zelf.

1.4 Werkwijze en strategie

1.4.1 Methode en technieken¹⁹

Algemene bepalingen

Onderstaande methodiek heeft betrekking op het natuurwetenschappelijk onderzoek (waardering en analyse) dat voortvloeit uit het booronderzoek waarvan het veldwerk (het inzamelen van de boorkernen/-monsters) reeds werd uitgevoerd in het kader van de nota (ID 24783).²⁰

Aangezien de beschrijving van de boorkernen deel uitmaakt van de opdracht en dus nog niet is uitgevoerd moet onderstaand voorstel voor waardering en analyse slechts als een ontwerp worden gezien. Het staat de onderzoekers vrij om hiervan af te wijken, mits voldoende

¹⁹ OP DE BEECK et al. 2022, PvM, pp. 7-11; VAN DER DOOREN 2023, PvM. pp. 7-11.

²⁰ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, pp. 70-76.

gemotiveerd en steeds in onderling overleg met de opdrachtgever. Alleen de monsterlocatie voor OSL-analyse kan niet meer worden gewijzigd aangezien de boorkernen waaruit deze monsters dienen te worden genomen in het veld een bijzondere behandeling hebben gekregen.²¹

Specifieke methode monsternamen

Paleogeul

Het Programma van Maatregelen (PvM) voorziet dat de boorlocatie met de langste bodemsequentie ter hoogte van de verlandde paleogeul ten noorden van de (oostelijke) kronkelwaardrug vermoedelijk de beste locatie is voor een waardering van de geulopvulling in functie van een vegetatiereconstructie. Deze waardering zal gebeuren door middel van pollen en radiokoolstofdateringen aan de hand van drie monsters van de humeuze klei (top, midden en basis). Op basis van het archeologisch booronderzoek is boorkern B.1008 de meest voor de hand liggende keuze voor een dergelijke waardering. Ter hoogte van de vlakbij gelegen boorlocatie VAB 25 is minimaal 1,5 m humeuze klei geregistreerd. Op ca. 3,2 m -mv was de basis van de geulvulling echter nog niet bereikt en is de boring gestaakt. Tijdens het veldwerk in het kader van het natuurwetenschappelijk onderzoek is ter hoogte van B.1008 dieper geboord en is pas op een diepte van ca. 7 m -mv de vermoedelijke basis van de paleogeul bereikt. Echter, eenzelfde diepte is ook genoteerd ter hoogte van boorlocatie B.1001 (ook ter hoogte van Mechelen-Zennegat zijn dergelijke geuldieptes gehaald²²). Op basis van de archeologische boringen werd voor deze boorlocatie uitgegaan van een vermoedelijke diepte van slechts ca. 2,2 m -mv. Op basis van de boorbeschrijving zal door de onderzoekers een voorstel tot waardering worden gedaan.

Veen

Doorheen het plangebied is veen aangetroffen. Om de start, evolutie en het einde van de veengroei te begrijpen, dient dit te worden gewaardeerd door middel van pollen en radiokoolstofdateringen (minimaal de top, het midden en de basis). Om na te gaan wanneer de kronkelwaardrug volledig afgedekt is geraakt, wordt een extra ¹⁴C-analyse van de basis van het veen ter hoogte van de top van het zand voorzien.

Insnijding/depressie

De genese van de geulvormige insnijding of depressie doorheen de kronkelwaardrug is nog onduidelijk. Aangezien het hier mogelijk om een zijarm van de grote paleogeul gaat, bestaat de kans dat bepaalde sedimentatiefasen, die in de paleogeul opgeruimd zijn door latere en/of meer intensieve rivieractiviteit, hier bewaard zijn gebleven. Op basis van de archeologische boringen lijkt deze geul/depressie tot ongeveer 3 m -mv te gaan en is deze opgevuld met organische klei en veen (o.m. VAB 19 & 29). Om de ouderdom en sedimentatiesnelheid na te gaan, wordt ook voor deze geul/depressie een waardering van de top, de basis en het midden door middel van pollen aanbevolen, aangevuld met een ¹⁴C-datering. Verschillende boorlocaties komen voor een waardering in aanmerking (B.1007, B.1015, B.1016, B.1017). Het merendeel van deze boringen zijn gezet tot 2,5 m -mv. Alleen B.1007 gaat tot 3 m -mv.

Kronkelwaardrug

Om de genese van de kronkelwaardrug beter te begrijpen wordt granulometrie, gloeiverlies (LOI) en OSL op twee locaties (één op elke rug) ingezet. De monsters voor OSL-analyse liggen wegens hun bijzondere behandeling bij voorbaat vast (B.1003B en B.1011B), voor de overige analyses staan meerdere boorkernen ter beschikking. Tevens dient de top van de beide zandruggen aan een micromorfologisch onderzoek te worden onderworpen. Hiermee kan onder meer worden achterhaald of de top is geërodeerd, maar ook antropogene invloeden op de bodem kunnen op deze manier worden bekeken. In het nabijgelegen Heindonk-Tien

²¹ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, p. 74.

²² BOGEMANS et al. 2010.

Vierendelen zijn in het micromorfologisch onderzoek indicaties te vinden dat stroomopwaarts de vegetatie periodiek werd afgebrand.²³ Daarnaast wees het micromorfologisch onderzoek ook op akkerbouw ter plaatse.

Een eventuele bevestiging van de micromorfologische analyses kan met wat geluk gehaald worden uit de macrorestenmonsters uit de top van de zandrug. In het geval van akkerbouw kan het gaan om resten van graan, kaf of akkeronkruiden. Ook andere macroresten kunnen aanwezig zijn.

Specifieke methodologie natuurwetenschappelijk onderzoek

Bodemopbouw

Alle boorkernen worden per laag en/of horizont lithologisch en bodemkundig beschreven. Belangrijke bodemeigenschappen, zoals textuur, bodemstructuur, oxidoreductie, kalkgehalte, biologische processen, chemische processen, mineralogische processen en bodemhorizonten worden gedetermineerd en beschreven. De beschrijving van de boorkernen gebeurt conform de FAO guidelines for soil description en de Code van Goede Praktijk.

Pollen

De waardering omvat negen monsters (3x paleogeul, 3x depressie/geul en 3x veen). De evaluatie bestaat uit het bepalen van de aanwezigheid, concentratie en bewaringskwaliteit van pollen en sporen in de monsters en van het tellen van 100 pollen van terrestrische hogere planten, en een inschatting van de relatieve ouderdom van het monster op basis van het geanalyseerde pollenspectrum.

In totaal worden 10 pollenspectra geanalyseerd (met een minimum pollensom van 400 terrestrische hogere planten). De focus ligt op de fasen waarvoor prehistorische aanwezigheid in het gebied is vastgesteld (mesolithicum-neolithicum; ruwweg Boreaal tot de overgang Subboreaal). Zinvol kan zijn om (deels) in te zetten op fases waarvoor er (regionaal) kennislacunes bestaan. Het selectievoorstel voor analyse wordt afgetoetst met regio/periode specialisten (bijv. UGent, KUL, OE).

Botanische macroresten

Zes monsters (3 monsters per zandrug) worden gewaardeerd. Bij de waardering wordt de aanwezigheid, bewaringstoestand en hoeveelheid van zowel verkoolde als niet verkoolde botanische resten bepaald. Hierbij worden de zeefresidu's gelijktijdig geëvalueerd voor zaden en vruchten, voor houtskool, voor parenchym, zwammen en mollusken. Indien de monsters botanische macroresten bevatten worden deze aan een basisanalyse onderworpen. In een aantal gevallen kan een SEM-analyse noodzakelijk zijn (bijv. parenchym). Hiervoor worden vijf analyses voorzien.

Radiokoolstofdateringen

In totaal worden 16 ¹⁴C-dateringen voorzien. Negen dateringen worden voorbehouden voor dateringen aan gewaardeerde pollenmonsters. Eén extra datering wordt gereserveerd voor een datering aan de basis van het veen ter hoogte van de top van het zand. Vijf dateringen kunnen naargelang de noodzaak worden ingezet om de pollensequenties verder te dateren, de snelheid van de opvulling of eventueel aangetroffen botanische macroresten. Eén datering wordt gereserveerd voor de datering van een organisch niveau en/of laagje, mocht dit aanwezig zijn in de top van het zand.

Micromorfologisch onderzoek

De zandrug zal op twee locaties bemonsterd worden voor micromorfologisch onderzoek. Mits een kleine overlap kunnen uit beide monsters wel twee lange smalle slijpplaten worden

²³ VAN KAPPEL 2022.

gehaald (18x3 cm) om de top van de zandrug te onderzoeken. Daarbij is er aandacht voor processen die met de bodemgenese in verband staan, erosie en fenomenen die met menselijke activiteiten in verband kunnen worden gebracht. Door het smalle formaat van de slijpplaten is het moeilijker om bepaalde fenomenen zoals akkerbouw en dergelijke vast te stellen, maar niet onmogelijk. Daarnaast is referentiemateriaal uit Heindonk-Tien Vierendelen beschikbaar.

OSL

Twee boorkernen van twee boorlocaties op de top van de zandrug (B.1003B en B.1011B) zijn bemonsterd door middel van zwarte kunststof liners om de monsters af te schermen tegen (zon)licht. Ze worden gesloten bewaard tot de monsternamen in het laboratorium onder de juiste omstandigheden kan plaatsvinden. De pal ernaast gestoken boringen (B.1003A en B.1011A) zijn voorbehouden voor de beschrijving van de bodem en het bepalen van de optimale monsterlocaties. Zes OSL-analyses worden voorzien, drie per boorlocatie. Op die manier is het mogelijk de interne consistentie per dateringsequentie na te gaan.

Textuur/LOI

De Textuur/LOI-analyse beoogt een verdere interpretatie van de bodemopbouw (verhouding zand-silt-klei) en in samenhang daarmee de hoeveelheid organische stof die aanwezig is. Deze analyses hebben als doel, in combinatie met micromorfologie en OSL, een beter begrip van het sedimentatiemilieu te bekomen, in dit geval de vorming van de kronkelwaardrug. Er worden tien textuuranalyses en twintig LOI-analyses voorzien. In ideale omstandigheden worden op de beide monsterlocaties op de kronkelwaardrug de verschillende lagen bemonsterd met daarbij 1 textuuranalyse en 2 LOI-analyses per laag. Op de nabijgelegen vindplaats van Heindonk-Tien Vierendelen waren in de top van de kronkelwaardrug ca. 5 lagen te herkennen. Bij een complexere bodemopbouw worden de meest representatieve locaties bemonsterd en geanalyseerd.

1.4.2 Organisatie van het natuurwetenschappelijk onderzoek²⁴

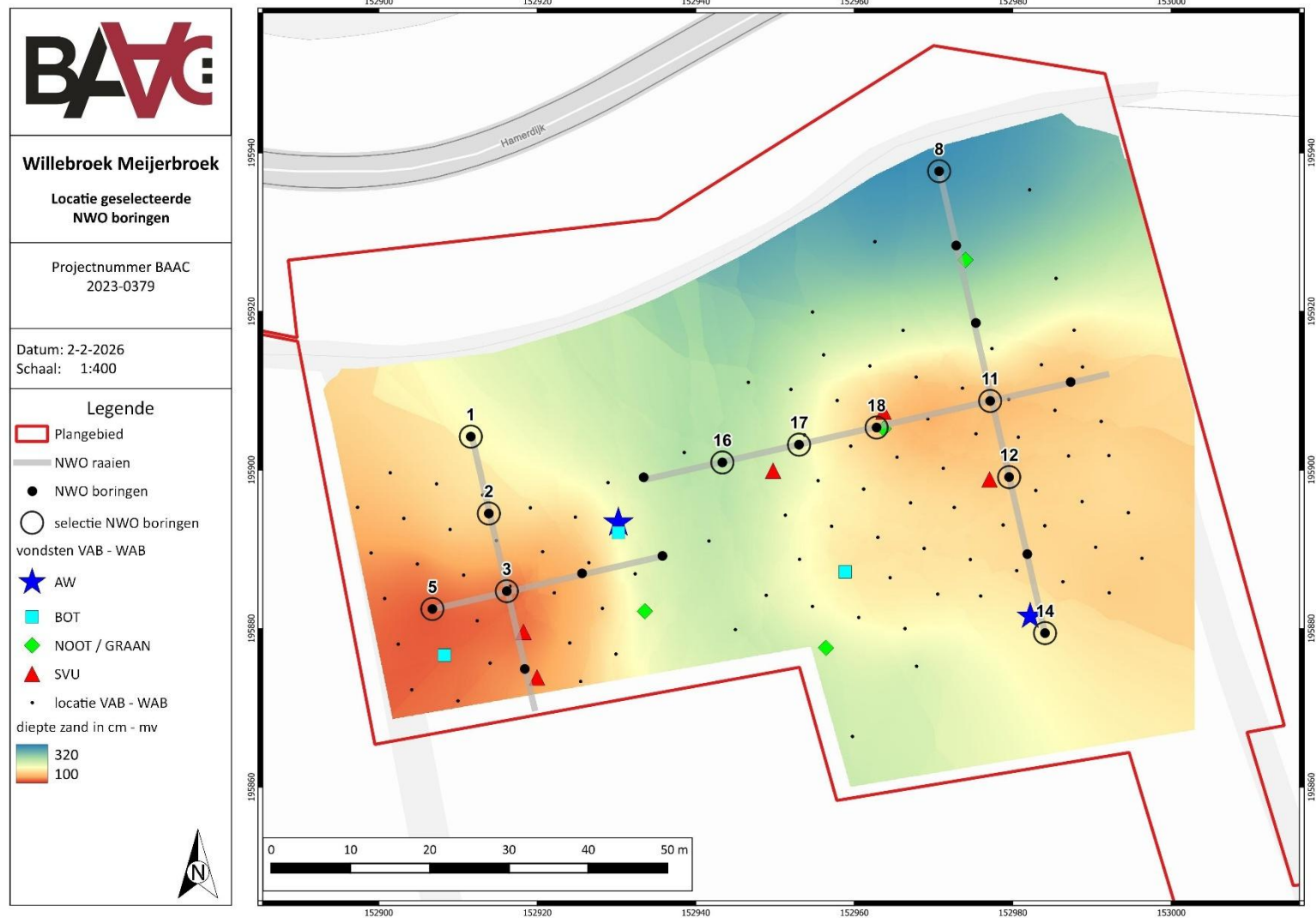
In totaal zijn 21 boringen gezet in twee haaks op elkaar staande kruisraaien, die zo zijn gepositioneerd dat ze telkens de top van de westelijke en oostelijke zijde van de kronkelwaardrug (de ‘westelijke rug’ en de ‘oostelijke rug’) doorsnijden (zie Figuur 4). De westzuidwest-oostnoordoost georiënteerde raai ter hoogte van de oostelijke rug is daarbij in westelijke richting nog enkele tientallen meters doorgetrokken zodat deze ook de zijgeul tussen beide ruggen doorsnijdt. De noord-zuidraai ter hoogte van de oostelijke rug is op zijn beurt in noordelijke richting verlengd zodat deze de geul ten noorden van de kronkelwaardrug aansnijdt.

Elke boring bestaat uit meerdere PVC-buizen. Elke buis heeft een totale lengte van 1,5 meter en een diameter van 5 cm. De buizen zijn in het laboratorium van BIAx geopend, gefotografeerd en beschreven. Vervolgens zijn lagen gedefinieerd en bemonsterd (zie Tabel 1).

Boringen B.1003 en B.1011, respectievelijk op de westelijke en oostelijke rug, zijn twee maal gezet. Deze boorlocaties zijn geselecteerd voor OSL-analyses. De eerste boorkern (A) werd daarbij ingezameld met het oog op de gedetailleerde bodembeschrijving en de bepaling van de monsternamen en monsterdiepte. De tweede boorkern (B) werd ingezameld voor de effectieve bemonstering. Aangezien OSL-monsters van (zon)licht moeten worden afgeschermd is bij het zetten van de tweede boring (B-boorkern) gebruik gemaakt van zwarte in plaats van de standaard transparante kunststof liner. Deze liners zijn voor hun transport en bewaring ook nog eens extra omwikkeld met zwarte folie alvorens te zijn gelabeld.²⁵

²⁴ VERBRUGGEN 2024; VERBRUGGEN 2025.

²⁵ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, p. 74.



Figuur 4: Willebroek-Meijerbroek, boorlocaties weergegeven op DHM zand. De omcirkelde boringen zijn gebruikt voor het natuurwetenschappelijk onderzoek (© BAAC Vlaanderen).

Tabel 1: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van het type onderzoek dat is uitgevoerd aan de verschillende boringen

boring	aantal buizen	locatie	bemonsterde lagen	pollen	macroresten	sedimentologie	micromorfologie	¹⁴ C-datering	OSL-datering
B.1001	5	transect westelijke rug	top rug		x				
B.1002	2	transect westelijke rug	top rug		x				
B.1003A	2	top westelijke rug	top rug				x		
B.1003B	2	top westelijke rug	top rug						x
B.1005	2	top westelijke rug	top rug			x			
B.1005	2	top westelijke rug	basis veen	x	x			x	
B.1008	5	noordelijke geul	geulvulling	x	x			x	
B.1011A	2	top oostelijke rug	top rug				x		
B.1011B	2	top oostelijke rug	top rug						x
B.1012	2	transect oostelijke rug	top rug		x				
B.1014	2	transect oostelijke rug	top rug		x				
B.1016	2	zijgeul	geulvulling	x	x			x	
B.1017	2	flank zijgeul/oostelijke rug	geulvulling	x	x			x	
B.1018	2	top oostelijke rug	top rug		x	x			

Palynologisch onderzoek

In totaal zijn elf palynologische monsters met een volume van 4 ml genomen (zie Tabel 2). Er is gekozen voor een extra staal, gezien een mogelijk interessant (antropogeen?) niveau in de afzettingen van de geul ten noorden van de kronkelwaardrug (B.1008). Om de microscopische resten te isoleren, zijn de palynologische stalen opgewerkt tot microscooppreparaten volgens de standaardmethode van Erdtman.²⁶ Hierbij is aan elk staal een bekende hoeveelheid *markers*, te weten sporen van een in Vlaanderen zeldzame wolfsklauwsoort (*Lycopodium clavatum*), toegevoegd om de concentratie palynologische resten te bepalen.²⁷ De opwerking is uitgevoerd door het Laboratorium voor Sedimentanalyse van de Vrije Universiteit te Amsterdam, onder leiding van M. Hagen.

De preparaten zijn onderzocht met behulp van een doorvallend-lichtmicroscop met vergrotingen tot 1000 maal. Hierbij is gebruik gemaakt van determinatieliteratuur en de

²⁶ ERDTMAN 1960; FÆGRI et al. 1989; met modificaties van KONERT 2002.

²⁷ STOCKMARR 1971. Hiertoel zijn bij elk monster twee tabletten met elk 17.197 sporen toegevoegd.

referentiecollectie van BIAx.²⁸ Andere palynomorfen (NPP's), zoals resten van schimmels en algen, zijn gedetermineerd met behulp van standaard NPP-determinatiewerken.²⁹ Voor de analyse zijn minimaal 600 pollen en sporen per staal geteld. Voor het bepalen van de percentages van de aanwezige palynologische resten is een *upland* pollensom gebruikt. Pollen en sporen van planten van vochtige tot natte milieus zijn hierin niet opgenomen, aangezien op basis van het macrorestenonderzoek vastgesteld kon worden dat oever- en moerasvegetatie zeer lokaal voorkwam en daarmee waarschijnlijk oververtegenwoordigd is. F. Verbruggen voerde het palynologisch onderzoek uit.

Alle monsters zijn gewaardeerd en bleken geschikt voor een analyse, met uitzondering van die uit de basis van het veen in boring B.1017 (overgang oostelijke rug en zijgeul).

Tabel 2: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de palynologische monsters

boring	buis	diepte (cm in buis)	laag	context	labcode	analyse
B.1008	5	9-10	9	basis (onverstoorde) noordelijke (n-) geulvulling	BX10666	ja
B.1008	4	93,5-94,5	11	midden n-geulvulling	BX10665	ja
B.1008	3	107,8-108,5	15	midden n-geulvulling (antropogeen?)	BX10664	ja
B.1008	2	127-128	20	top n-geulvulling	BX10663	ja
B.1016	2	140-141	1	basis zijgeulvulling	BX10905	ja
B.1016	2	95,5-96,5	2	midden zijgeulvulling	BX10668	ja
B.1016	2	64-65	3	top zijgeulvulling	BX10667	ja
B.1017	2	119-120	4	basis veen flank o-rug en zijgeul	BX10661	nee
B.1017	2	98-99	5	midden veen o-rug en zijgeul	BX10660	ja
B.1017	2	75-76	6	top veen flank o-rug en zijgeul	BX10659	ja
B.1005	2	78-79	5	basis veen w-rug	BX10662	ja

Macrorestenonderzoek

In totaal zijn 18 botanische macrorestenmonsters genomen (zie Tabel 3), waarvan er één ter verifiëring van de top van de zijgeulafzettingen diende (B.1016).

Er zijn meer monsters genomen dan voorzien, aangezien het in sommige gevallen niet duidelijk was waar zich de top van het zand bevond en omdat er door meer monsters te bekijken meer kans was op het aantreffen van macroresten die in relatie staan tot prehistorische bewoning van de zandruggen.

De macrorestenstalen zijn in het laboratorium van BIAx met leidingwater gezeefd over een serie zeven met maaswijdten van 0,5 en 0,25 mm. De zeefresiduen zijn onderzocht met behulp van een opvallend-lichtmicroscop met een vergroting tot 50 maal. De botanische

²⁸ BEUG 2004; MOORE et al. 1991; PUNT et al. 2009.

²⁹ Zie het ongepubliceerde verzamelwerk van VAN HOEVE & HENDRIKSE 1998 en alle referenties daarin, met het zwaartepunt van de bijdragen door Van Geel.

macroresten zijn gedetermineerd volgens standaardwerken en met behulp van de referentiec collectie van BIAx.³⁰ Het macrorestenonderzoek is uitgevoerd door F. Verbruggen.

Alle macrorestenmonsters zijn gewaardeerd.³¹ De meeste monsters bleken vanwege de afwezigheid van macroresten niet geschikt voor vervolgonderzoek. Alleen de macrorestenmonsters uit de top van het zand op de noordelijke flank van de westelijke rug (lagen 12 en 13 in B.1001) zijn matig rijk aan botanische macroresten, die naar verwachting de periode van een verdrinkende westelijke rug weerspiegelen. Deze twee stalen zijn geanalyseerd.

De top van de oostelijke rug (lagen 4 en 8 in B.1018) bevat een antropogene indicator in de vorm van zaden van de akkerplant klaproos. Echter, kiemwit in één van de klaprooszaden toont aan dat dit recente intrusies betreft, waarschijnlijk het gevolg van de boorteknik.

Ook de monsters voor het daterend ¹⁴C-onderzoek kunnen als macrorestenmonsters beschouwd worden. Tijdens de selectie van materiaal zijn namelijk ook macroresten waargenomen. De monsters zijn voornamelijk afkomstig uit de geul ten noorden (B.1008), de zijgeul tussen de twee ruggen in (B.1016) en het veen dat zich bovenop de kronkelwaardrug heeft gevormd (B.1017 en B.1005). Het advies om de basis, het midden en de top van beide geulvullingen (lagen 2, 3 en 5 in B.1008 en lagen 1, 2 en 3 in B.1016), de top van het veen op de overgang van de oostelijke rug naar de zijgeul (laag 6 in B.1017) en de basis van het veen op de top van de westelijke rug (laag 3 in B.1005) te analyseren, is opgevolgd.

Tabel 3: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de macrorestenmonsters

boring	buis	diepte (cm)	laag	context	volume	analyse
B.1018	2	79-83	4	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1018	2	37-43	8	top zand o-rug	80 ml	nee
B.1016	2	26,5-30	6	basis klei zijgeul	45 ml	nee
B.1012	2	104-108	1	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1012	2	93-97	2	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1012	2	80-84	3	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1014	2	139,5-143	1	top zand o-rug	45 ml	nee
B.1014	2	124-128	2	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1014	2	95-99	4	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1014	2	88,5-92,5	6	top zand o-rug	50 ml	nee
B.1005	2	103-108,5	2	top zand w-rug	75 ml	nee
B.1005	2	99-103	3	basis zandige klei op zand	50 ml	nee
B.1005	2	79,5-84,5	4	top zand w-rug	60 ml	nee

³⁰ BERGGREN 1969; BERGGREN 1981; ANDERBERG 1994; CAPPERS et al. 2006; KÖRBER-GROHNE 1964; KÖRBER-GROHNE 1991.

³¹ VERBRUGGEN 2024.

boring	buis	diepte (cm)	laag	context	volume	analyse
B.1002	2	113,5-118	3	top zand w-rug	60 ml	nee
B.1002	2	111-113,5	4	basis zandige klei op zand	30 ml	nee
B.1001	4	75-79	10	top zand? flank w-rug zijgeul	50 ml	nee
B.1001	3	95-99	12	top zand? flank w-rug zijgeul	50 ml	ja
B.1001	3	79,5-83,5	13	top zand flank w-rug zijgeul	50 ml	ja

Daterend onderzoek

In totaal zijn 15 monsters genomen om voldoende materiaal te verkrijgen voor 10 ¹⁴C-dateringen (zie Tabel 4).³² Het geselecteerde materiaal is gedateerd door het Poznan Radiocarbon Laboratory dat onder leiding staat van Prof. hab. T. Goslar.

In aanvulling op het ¹⁴C-onderzoek zijn ook monsters genomen ten behoeve van OSL-dateringen. Het betreft in totaal zes monsters. Drie uit de sequentie van de top van de westelijke rug (B.1003B) en drie van de top van de oostelijke rug (B.1011B). Deze dateringen zijn uitgevoerd door het Nederlands Centrum voor Luminescentiedatering (NCL) van Wageningen University & Research dat onder leiding staat van Prof. J. Wallinga.

Tabel 4: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de monsters voor ¹⁴C-onderzoek

boring	buis	diepte (cm)	laag	context	datering
B.1008	5	7-12	9	basis n-geulvulling	nee (geen materiaal)
B.1008	5	12-15	9	basis n-geulvulling	ja
B.1008	3	106-110	15	midden n-geulvulling (antropogeen?)	ja
B.1008	2	125,5-130	20	top n-geulvulling	ja
B.1016	2	138-142	1	basis zijgeulvulling	ja
B.1016	2	94-97	2	midden zijgeulvulling	ja
B.1016	2	62-66	3	top zijgeulvulling	ja
B.1017	2	117-120	4	basis veen flank o-rug	nee (geen materiaal)
B.101.7	2	114-117	4	basis veen flank o-rug	ja
B.1017	2	97-100	5	midden veen flank o-rug	nee (geen materiaal)
B.1017	2	100-104	5	midden veen flank o-rug	ja
B.1017	2	104-106	5	midden veen flank o-rug	nee (geen materiaal)
B.1017	2	75-78	6	top veen flank o-rug (a-staal)	ja (tezamen met b-staal)

³² Indien er niet voldoende materiaal aanwezig was in een niveau is een aangrenzend niveau bemonsterd.

B.1017	2	78-81,5	6	top veen flank o-rug (b-staal)	ja (tezamen met a-staal)
B.1005	2	75-79	5	basis veen top w-rug	ja

Gloeiverlies (LOI)

Aan de hand van een thermo-gravimetrische analyse (TGA) is het gehalte kalk en organisch materiaal bepaald met behulp van een LECO TGA. Tijdens dit *loss-on-ignition*-onderzoek, ook wel gloeiverliesonderzoek genoemd, zijn de stalen (zie Tabel 5) stapsgewijs verhit van 105°C (om vocht te verwijderen) via een tussenstap van 330°C (om gemakkelijk verbrandbaar organisch materiaal te kwantificeren) naar 550°C (om het organisch materiaal te kwantificeren) en naar 950°C (om kalk in de vorm van calciumcarbonaat te bepalen). De analyse is uitgevoerd door het Laboratorium voor Sedimentanalyse van de Vrije Universiteit te Amsterdam, onder leiding van M. Hagen.

Tabel 5: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de monsters voor gloeiverliesonderzoek (LOI)

boring	buis	diepte (cm)	laag	context	labcode	volume
B.1018	2	127-128	2	top zand o-rug	LOI20	5 ml
B.1018	2	113-114	2	top zand o-rug	LOI19	5 ml
B.1018	2	97,5-98,5	3	top zand o-rug	LOI18	5 ml
B.1018	2	86-87	4	top zand o-rug	LOI17	5 ml
B.1018	2	73,5-74,5	5	top zand o-rug	LOI16	5 ml
B.1018	2	66-67	5	top zand o-rug	LOI15	5 ml
B.1018	2	57,5-58,5	6	klei in zand o-rug	LOI14	4 ml
B.1018	2	52-53	7	top zand o-rug	LOI13	5 ml
B.1018	2	45-46	8	top zand o-rug	LOI12	5 ml
B.1018	2	37,5-38,5	8	top zand o-rug	LOI11	5 ml
B.1005	2	140-141	1	top zand w-rug	LOI10	5 ml
B.1005	2	135,5-136,5	1	top zand w-rug	LOI9	5 ml
B.1005	2	129,5-130,5	1	top zand w-rug	LOI8	5 ml
B.1005	2	124-125	1	top zand w-rug	LOI7	5 ml
B.1005	2	117-118	1	top zand w-rug	LOI6	5 ml
B.1005	2	111,5-112,5	1	top zand w-rug	LOI5	5 ml
B.1005	2	108,5-109,5	2	top zand w-rug	LOI4	5 ml
B.1005	2	106,5-107,5	2	top zand w-rug	LOI3	5 ml
B.1005	2	104-105	2	top zand w-rug	LOI2	5 ml

B.1005	2	101-102	3	basis zandige klei op zand w-rug	LOI1	5 ml
--------	---	---------	---	----------------------------------	------	------

Granulometrie

Met behulp van een Sympatec HELOS KR laser-diffractie particle sizer zijn korrels van de stalen voor het korrelgrootte-onderzoek (zie Tabel 6) in het bereik tussen 0,15 en 2000 µm gemeten. De korrelgrootten zijn ingedeeld in klassen, waarbij klei: < 8 µm, silt: 8-63 µm (waarvan zeer fijn silt: 8-16 µm, fijn silt: 16-32 µm, grof silt: 32-63 µm) en zand: 63-2000 µm (waarvan zeer fijn zand: 63-125 µm, fijn zand: 125-250 µm, middelgrof zand: 250-500 µm, grof zand: 500-1000 µm, zeer grof zand: 1000-2000 µm).

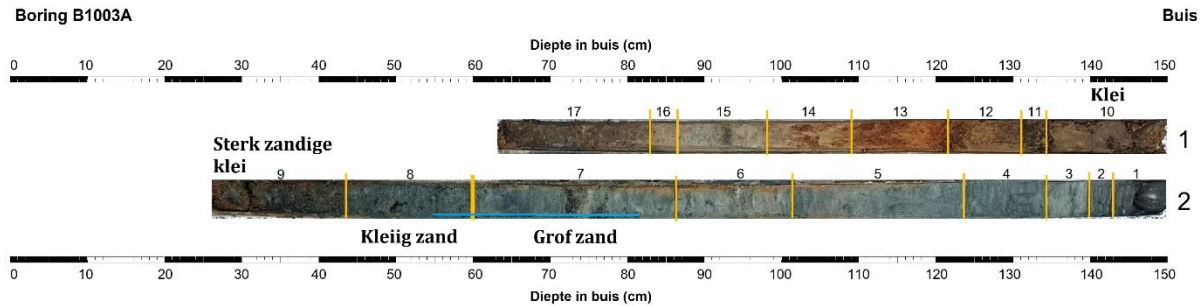
De analyse is uitgevoerd door het Laboratorium voor Sedimentanalyse van de Vrije Universiteit te Amsterdam, onder leiding van M. Hagen.

Tabel 6: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de monsters voor het korrelgrootte (textuur)onderzoek

boring	buis	diepte (cm)	laag	context	labcode	volume
B.1018	2	113-114	2	top zand o-rug	TXT10	2 ml
B.1018	2	86-87	4	top zand o-rug	TXT9	2 ml
B.1018	2	66-67	5	top zand o-rug	TXT8	2 ml
B.1018	2	52-53	7	top zand o-rug	TXT7	2 ml
B.1018	2	37,5-38,5	8	top zand o-rug	TXT6	2 ml
B.1005	2	140-141	1	top zand w-rug	TXT5	2 ml
B.1005	2	129,5-130,5	1	top zand w-rug	TXT4	2 ml
B.1005	2	117-118	1	top zand w-rug	TXT3	2 ml
B.1005	2	108,5-109,5	2	top zand w-rug	TXT2	2 ml
B.1005	2	104-105	2	top zand w-rug	TXT1	2 ml

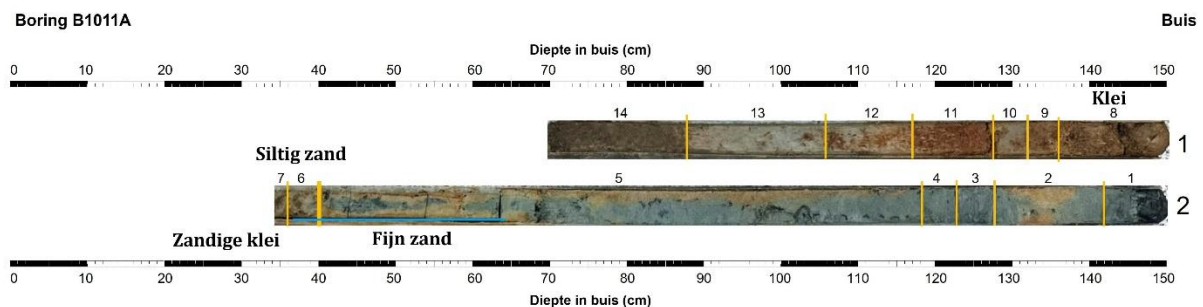
Micromorfologisch onderzoek

De top van de westelijke rug (B.1003A) en oostelijke rug (B.1011A) is bemonsterd voor micromorfologisch onderzoek. Uit boorkern B.1003A is het gedeelte tussen 55 en 82 cm bemonsterd (Figuur 5) en uit boorkern B.1011A het gedeelte tussen 36,5 en 63,5 centimeter (Figuur 6).



Figuur 5: Profielfoto van de boorkern B.1003A met daarin de bemonsterde zone (blauwe lijn) ten behoeve van micromorfologisch onderzoek (foto: BIAx).

De monsters zijn, om vervorming en het verlies van microstructuren te vermijden, onder geconditioneerde omstandigheden gedroogd. Vervolgens worden de monsters meerdere malen geïmpregneerd met een kleurloze onverzadigde polyesteroplossing en laat men ze volledig uitharden aan de lucht. Uit de kern van de uitgeharde monsters zijn aan de Universiteit van Gent zes slijpplaten van hoogwaardige kwaliteit gemaakt, dit om verstoringen door bemonstering zoveel mogelijk uit te sluiten.³³ De slijpplaten hebben een grootte van 9 x 6 cm (kubiëna-formaat) en een dikte die ligt tussen de 25 en 30 µm.



Figuur 6: Profielfoto van de boorkern B.1003A met daarin de bemonsterde zone (blauwe lijn) ten behoeve van micromorfologisch onderzoek (foto: BIAx).

De micromorfologische analyses zijn uitgevoerd door ir. Kirsten van Kappel (senior-bodemmicromorfoloog, ArcheoPro) met een Euromex trinoculaire stereo zoommicroscop StereoBlue en een Leitz Ortholux II polarisatie-lichtmicroscop met vergrotingen tot 500 maal. De Ortholux microscop is uitgerust met een AmScope MA1000 camera. Bij de analyse is gebruik gemaakt van de hiervoor gangbare handboeken.³⁴

Om een antwoord te kunnen geven op de vraag of de top van het zand geërodeerd is en er antropogene indicatoren aanwezig zijn, worden er karakteristieke bodemeigenschappen geselecteerd die iets zeggen over de natuurlijke-, en/of antropogene processen die op de monsterlocatie een rol kunnen hebben gespeeld bij de vorming van de bemonsterde zones. De voor dit onderzoek geselecteerde karakteristieken zijn:

- Grondmassa
- Bioturbatie door flora en/of fauna
- In- en/of uitspoeling
- Organisch materiaal
- Artefacten

³³ Deze preparatiemethode staat uitgebreider beschreven in JONGERIUS & HEINTZBERGER 1975.

³⁴ STOOPS 2021; MACPHAIL & GOLDBERG 2018.

Met behulp van deze karakteristieken zijn laagtypologieën geformuleerd. Een laagtypologie is een karakterisering van een laag die op een of meerdere van bovengenoemde punten afwijkt van een andere laag in hetzelfde profiel.

De resultaten van de analyse worden weergegeven in schematische overzichtsfiguren waarbij de in elk van de afzonderlijke trajecten onderscheiden verschijnselen worden gekwantificeerd met plussen en minnen, zie hieronder:

- ++ komt veel voor / sterk ontwikkeld
- + komt regelmatig voor / matig ontwikkeld
- +/- komt hier en daar voor / zwak ontwikkeld
- ontbreekt nagenoeg / hier en daar enigszins zichtbaar
- volledig afwezig/ niet ontwikkeld

Deze kwantificering wordt weergegeven in tabelvorm. Daarnaast wordt een beschrijving gegeven van de aangetroffen verschijnselen per onderscheiden laag, gevolgd door een interpretatie.

2 Bodem en paleolandschap

2.1 Paleolandschappelijk en bodemkundig kader

Het landschappelijk en aardkundig kader werd reeds uitgebreid besproken in het Verslag van Resultaten van de archeologienota (ID 17950)³⁵. De resultaten en interpretatie van het landschappelijk bodemonderzoek zijn terug te vinden in hoofdstuk 2 van de nota (ID 24783)³⁶. Hier wordt slechts kort de informatie hernomen die relevant is voor het uitgevoerde onderzoek.

Het plangebied Willebroek, Meijerbroek ligt in de deelgemeente Heindonk in het gebied *Meyersbroek* en is gelegen aan de Rupeldijk (Sigmadijk), ten zuiden van het overstromingsgebied Bovenzanden. Het gehele plangebied wordt omringd door kleine, niet geklasseerde, waterlopen. Ten zuiden van het plangebied bevindt zich een grote plas. Ten noorden van het plangebied op een 500-tal meter bevindt zich de Bovenzandendijkloop en op een 600-tal meter de Rupel. De vertakking Rupel, Dijle en Grote Nete bevindt zich eveneens op ongeveer 600 meter ten westen van het plangebied. De omgeving rond het projectgebied bevindt zich volgens het Digitaal Hoogtemodel van Vlaanderen (DHM) tussen + 1,80 en + 8,10 m TAW.

In geomorfologisch opzicht bevindt het plangebied zich in de oostelijke uitloper van de Vlaamse vallei, en ligt op de grens met de subcuesta van het land van Boom.³⁷ De omgeving van het plangebied wordt gekenmerkt door afzettingen van het lid van Belsele-Waas behorende tot de formatie van Boom. Quartairgeologisch wordt het plangebied gekenmerkt door fluviaatiele afzettingen, waarvan de textuur varieert van klei tot zand, met mogelijk veen. Met daaronder eolische afzettingen en afzettingen van lokale oorsprong. Hieronder bevindt zich zandige vlechtende rivierafzettingen van zeer fijn tot medium zand.

Op de bodemkaart van Vlaanderen is de bodem in het plangebied enerzijds grotendeels gekarteerd als sterk gleyige gronden op klei zonder profielontwikkeling. De klei rust op wisselende diepte op leem, zand, mergel of veen, soms op een zeer zware contrasterende kleilaag of een klei-zandsubstraat. Anderzijds wordt de bodem gekenmerkt door hydromorfe, sterk gleyige alluviale grondwatergronden op klei met reductiehorizont zonder profielontwikkeling. Sommige zones worden dan weer gekenmerkt door natte zandleembodems zonder profielontwikkeling of matig natte lemige zandgronden. Tijdens het landschappelijk en archeologisch booronderzoek zijn met name kleibodems met een onder veen begraven zandsubstraat aangetroffen. Dit zandig substraat is als de resten van een kronkelwaardsysteem geïnterpreteerd.

2.2 Beschrijving lithologie en monsternames boringen³⁸

2.2.1 B.1008: noordelijke geul

Boring B.1008 is gezet in het diepste deel van de geul ten noorden van de zandrug. Het natuurwetenschappelijk onderzoek dient om de periode van opvulling van de geul te dateren, het landschap te duiden en eventuele veranderingen daarin te traceren, met bijzondere aandacht voor menselijke invloed.

³⁵ ZWITSER & SAELENS 2021.

³⁶ OP DE BEECK et al. 2022.

³⁷ DE MOOR & MOSTAERT 1993.

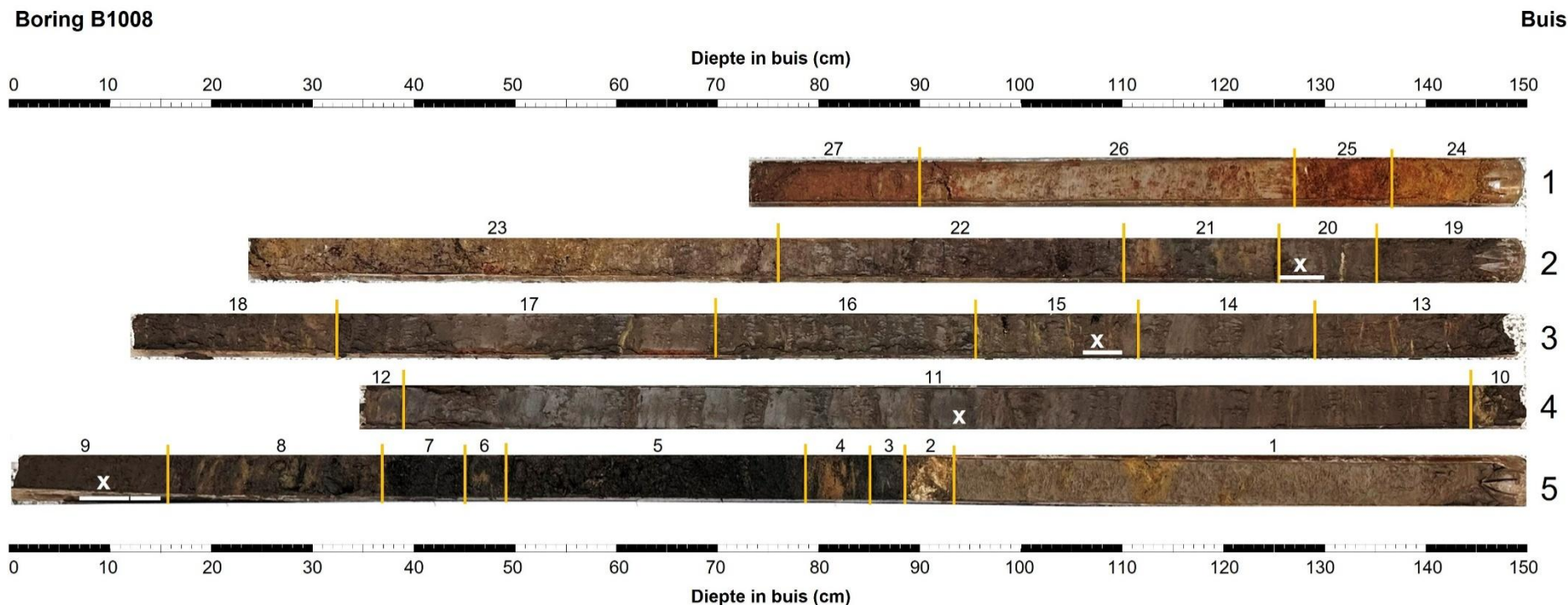
³⁸ VERBRUGGEN 2025, pp. 4-11.

In totaal zijn 27 lagen onderscheiden in boring B.1008 (zie Figuur 7). Na een beige fijnkorrelige brok in de onderste buis 5 (laag 2) is er sprake van een accumulatie van grof klastisch materiaal (lagen 3 en 4), gevolgd door grof organisch materiaal in de vorm van twijgfragmenten (lagen 5 en 7) met daarin tevens zandlagen (lagen 6 en 8) (*channel-lag* afzettingen?). Dit lijkt het gevolg van een initiële reactivatie van de geul. Door de dynamiek en het relatief hoogenergetische afzettingsmilieu konden relatief grofkorrelige en relatief zware plantenresten afgezet worden. Het is goed denkbaar dat de depositie van de plantenresten in korte tijd plaatsvond. Aangezien het waarschijnlijk verspoeld materiaal betreft, zijn de organische vullingen lagen 5 en 7 niet bemonsterd. Vanaf laag 9 is er sprake van een rustiger sedimentatieniveau. De basis van deze laag is geselecteerd voor natuurwetenschappelijk onderzoek. Dit zeer humeuze kleipakket vervolgt in buis 4 (laag 11). Het midden van laag 11 is geselecteerd voor natuurwetenschappelijk onderzoek van het midden van de geulvulling. De basis en de top (respectievelijk lagen 10 en 12) in deze buis zijn zandiger (mogelijk verstoringen als gevolg van het boren?). In buis 3 volgt een dik pakket zeer humeuze klei (lagen 13 t/m 17), dat soms wat zandiger is. Met name laag 15 is zandiger, wat deze laag met het oog op menselijke activiteiten op de zandruggen interessant maakt (temeer omdat deze laag twee organische brokken bevat op 108 en 98 cm). De influx van grover materiaal kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van toegenomen erosie. Om deze reden is geopteerd om dit niveau aanvullend te bemonsteren voor natuurwetenschappelijk onderzoek. Ook in buis 2 gaan de geulafzettingen door (lagen 19 en 20). Vanaf laag 21 is er sprake van oxidatievlekken en ontbreken de kenmerkende zandlaagjes (mogelijke stuiflaagjes?) die hieronder veelvoorkomend waren in de geulafzettingen. De top van de onderliggende laag 20 wordt dan ook gezien als de top van de natuurlijke geulafzettingen van de geul ten noorden van de zandruggen en is bemonsterd voor natuurwetenschappelijk onderzoek. Hierboven bevinden zich kleiafzettingen, die het gevolg zijn van de verdrinking van het landschap.

De basis van de zeer humeuze kleivulling (laag 9) is bemonsterd voor palynologisch en daterend onderzoek. Voor het daterend onderzoek bleken twee substalen nodig om voldoende resten te selecteren.

Hoewel er maar één niveau is voorzien voor de staalname van het midden van de geulvulling, is ervoor gekozen om de geulvulling op twee niveaus te bemonsteren voor palynologisch onderzoek. Zo is laag 11 bemonsterd om inzicht te geven in het natuurlijke landschap. Aanvullend is de meer zandige laag 15, met mogelijk meer antropogene invloed, bemonsterd voor palynologisch en daterend onderzoek. Het palynologisch staal uit laag 11 kan dienen ter referentie van laag 15, om te achterhalen of er sprake is van een verhoogd antropogeen signaal in laag 15.

De top van de geulafzettingen (laag 20) is bemonsterd voor palynologisch en daterend onderzoek.



Figuur 7: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1008 gezet ter hoogte van de noordelijke geul, bestaande uit 5 buizen (buis 1 = top, buis 5 = basis) (© BIAx).

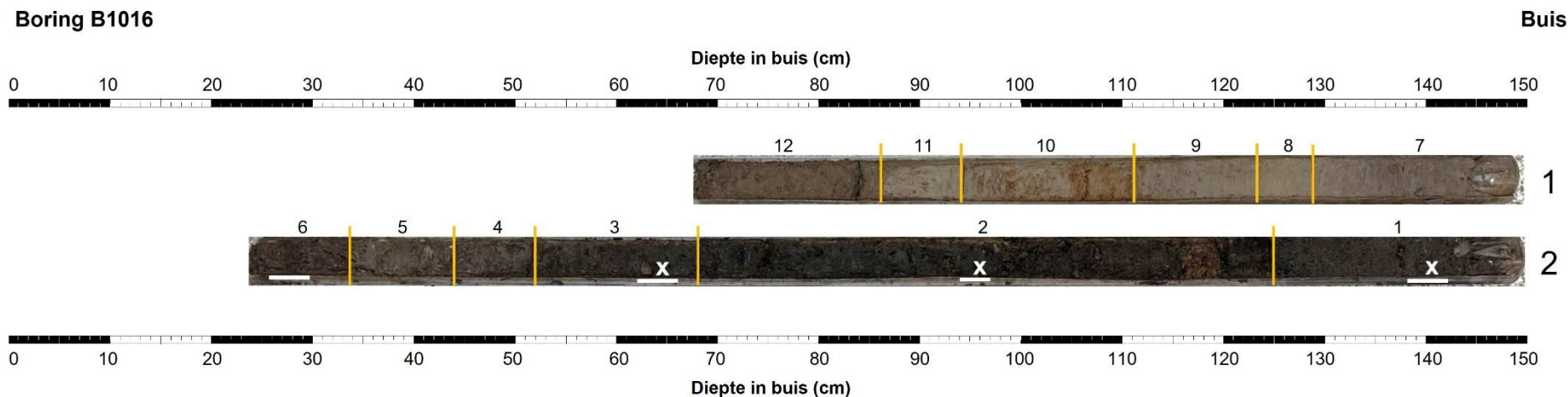
Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ¹⁴C, 1 = grijze zandige klei, 2 = beige fijnkorrelige brok, 3 = donkerbruin kleiig zand, 4 = oranjebruin grof zand met humeuze lagen, 5 = organisch materiaal, veel twijgfragmenten (verspoeld?), 6 = oranjebruin zand, 7 = organisch materiaal, veel twijgfragmenten, 8 = grijs en bruin zand (hout op 33 cm), 9 = donkergrijsbruine, zeer humeuze klei, 10 = zand (verstoring?), 11 = donkergrijsbruine zeer humeuze klei met her en der zandige laagjes en een zeer organische laag op 95-96 cm, 12 = zandige klei (verstoring?), 13 = donkerbruin, kleiig fijn zand, 14 = donkergrijsbruine zeer humeuze licht zandige klei, 15 = donkerbruin, kleiig fijn zand, 16 = donkerbruine zeer humeuze zandige klei, 17 = donkerbruine zeer humeuze klei met zandlaagje op 61-62 cm, 18 = donkerbruin zand en humeuze klei (verstoring?), 19 = oranje/donkerbruine zandige zeer humeuze klei (verstoring?), 20 = donkerbruine, zandige, zeer humeuze klei met zandlaagje op 132 cm, 21 = donkerbruine zeer humeuze klei met oxidatievlekken, 22 = donkerbruine zeer humeuze klei, 23 = beigegrijze klei met zwart organisch materiaal in de top (wortels?), 24 = groenbeige/oranje zandige klei, 25 = roodoranje zandige klei, 26 = grijze klei, 27 = oranjebruine fijn lemig zand.

2.2.2 B.1016: zijgeul of depressie

Boring B.1016 is gezet in de (zij)geul of depressie die de zanddrug als het ware opdeelt in een westelijk en een oostelijk deel. Het natuurwetenschappelijk onderzoek dient om de zijgeul te dateren en de genese ervan beter te begrijpen, het landschap ten tijde van de opvulling van deze zijgeul te duiden en eventuele veranderingen daarin te traceren, met bijzondere aandacht voor menselijke invloed.

In totaal zijn 12 lagen onderscheiden in boring B1016 (zie Figuur 8). De basis van buis 2 bevat venige klei, wat geïnterpreteerd is als geulvulling. Vanwege het ontbreken van onderliggende grovere, klastische sedimenten is de daadwerkelijke basis van de zijgeul naar alle waarschijnlijkheid niet in de boring gevangen (zie paragraaf 2.4.1). De kleiige veenafzettingen die daarop volgen (laag 2) bevatten plantaardige resten, waaronder (wortel?)hout. Hierop volgt een pakket zeer humeuze klei (laag 3), gevolgd door meer of minder humeuze klei (lagen 4, 5 en 6). De top van de geulafzettingen bevindt zich waarschijnlijk in de top van laag 3 of laag 6. Een waarderend macrorestenonderzoek aan beide lagen laat zien dat laag 6 zeer kleiig is en geen aquatische flora- of faunaresten bevat. Hieruit is geconcludeerd dat de top van de geulvullingen zich bevindt in de top van laag 3. De sedimenten in buis 1 bestaan uit klei, die het gevolg zijn van de verdrinking van het landschap.

De basis, het midden en de top van de vulling van de zijgeul die beide ruggen van elkaar scheidt (respectievelijk lagen 1, 2 en 3), zijn bemonsterd voor palynologisch onderzoek en voor daterend onderzoek.



Figuur 8: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1016, gezet ter hoogte van de zijgeul of depressie tussen beide ruggen in, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (@ BIAX).

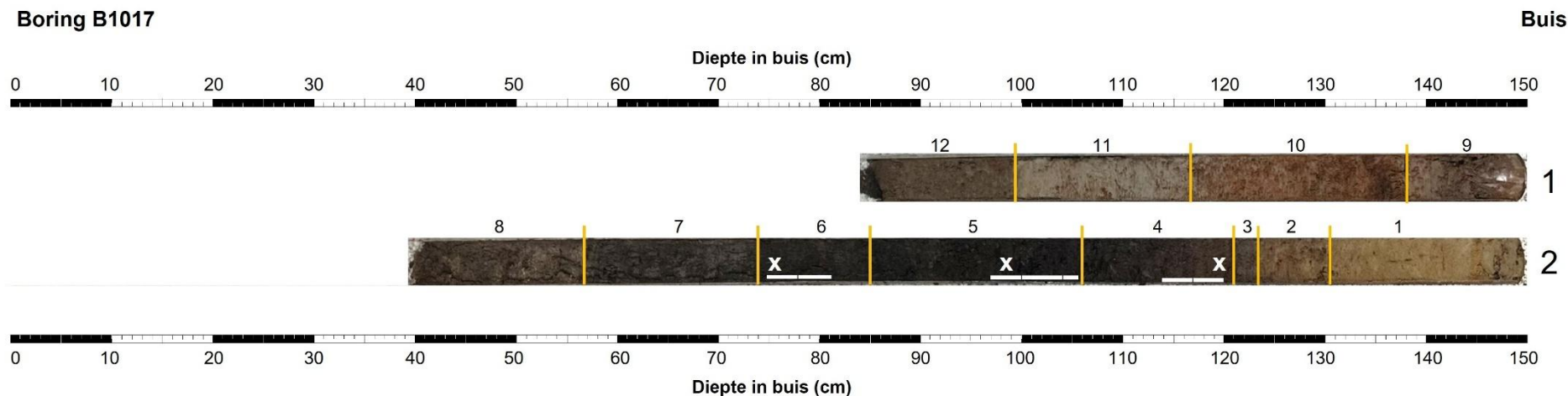
Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ¹⁴C. Het staal uit laag 6 is niet verder uitgewerkt, maar diende ter lokaliseren van de top van de geulafzettingen. 1 = donkerbruingrijze zeer humeuze venige klei, 2 = kleilig veen met veel (grote) houtresten, 3 = zeer humeuze klei met plantenresten, 4 = donkerbruine humeuze klei, 5 = grijsbruine humeuze klei met leem, 6 = donkerbruine zeer humeuze klei, 7 = donkerbruingrijze klei (houtschool?), 8 = oranjegrijze klei, 9 = bruingrijze klei met enkele oxidatievlekken, 10 = grijsoranje klei met veel oxidatie, 11 = oranjegrijze klei, 12 = oranjebruine zandige klei.

2.2.3 B.1017: overgang oostelijke rug en zijgeul

Boring B.1017 is gezet op de overgang van de zijgeul naar het oostelijke deel van de kronkelwaardrug. Het natuurwetenschappelijk onderzoek dient om het veen op deze locatie te dateren en het biotische landschap ten tijde van veenvorming langs de flank van de oostelijke rug te achterhalen, waarbij ook hier aandacht uitgaat naar veranderingen erin.

In totaal zijn 12 lagen onderscheiden in boring B.1017 (zie Figuur 9). De basis van buis 2 bevat zand (laag 1). Het betreft een zandpakket waaruit de oostelijke rug zelf bestaat. De component klei wordt steeds prominenter in lagen 2 en 3. Vanaf laag 4 is er sprake van veenvorming, wat erop wijst dat er sprake is van waterverzadigde omstandigheden. Het is goed denkbaar dat hier sprake is van organogene lagen die geassocieerd zijn met de geul die zich direct ten westen bevond. Het veen is zandig aan de basis (laag 4) en kleiig in de top (laag 6). Op de klei is een pakket zeer humeuze tot humeuze klei afgezet (lagen 7 en 8), wat aansluit op laag 9 in buis 1. Hierboven bevindt zich een pakket geoxideerde siltige klei (lagen 10 en 11). Het betreft hier klei die uiteindelijk de gehele locatie heeft afgedekt. De top van buis 1, de sedimenten direct onder het maaiveld, bestaan uit zandige klei.

De basis, het midden en de top van het veen (respectievelijk lagen 4, 5 en 6 in buis 2) zijn bemonsterd voor palynologisch en daterend onderzoek. Aangezien de veenlagen niet rijk zijn aan geschikte macroresten, zijn aanvullende stalen (7 stalen in totaal) genomen.



Figuur 9: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1017, genomen ter hoogte van de zijgeul en de flank van de oostelijke rug, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx).

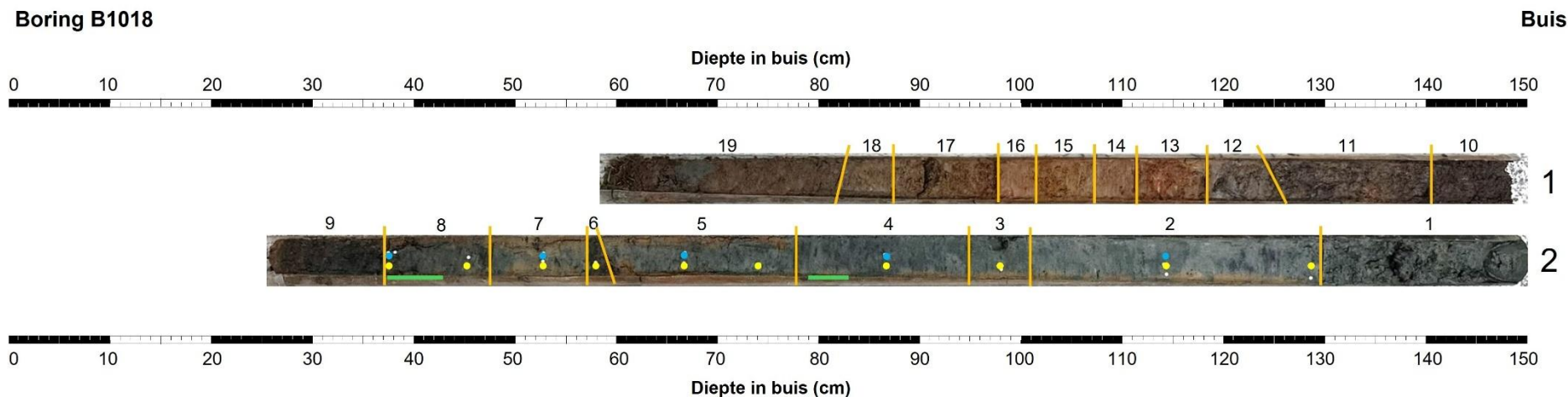
Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ^{14}C , 1 = oranjebeige zand, 2 = oranjebeige kleiig zand (houtschool?), 3 = donkerbruine zandige klei, 4 = donkerbruine licht zandig veen met plantenresten, 5 = donkerbruin veen, 6 = donkerbruin kleiig veen, 7 = donkerbruine zeer humeuze klei, 8 = bruine humeuze klei met leem, 9 = donkergrijze humeuze klei, lichte oxidatie, 10 = oranjegrijze siltige klei met veel oxidatie, 11 = grijze licht siltige klei, lichte oxidatie, 12 = donkeroranjebruin-grijze zandige klei, veel oxidatie.

2.2.4 B.1018: top oostelijke rug

Boring B.1018 is gezet op de top van het oostelijke deel van de kronkelwaardrug. Het doel van het natuurwetenschappelijk onderzoek van deze boring is het achterhalen van de genese en samenstelling van de oostelijke zandrug aan de hand van sedimentologisch onderzoek. Macrorestenonderzoek kan bovendien meer informatie geven over lokale plantengemeenschappen en de voedingsgewoonten van de vroegere bewoners van deze zandrug.

In totaal zijn 19 lagen onderscheiden in boring B1018 (zie Figuur 10). De zanden in de basis van buis 2 (lagen 1 t/m 8) zijn geïnterpreteerd als de beddingafzettingen van de oostelijke rug. De onderste laag (laag 1) is zeer kleiig en bevat veel harde concreties die het gevolg zijn van doorworteling. Het zand lijkt grofkorreliger in lagen 2 t/m 5 dan in de bovenliggende lagen 7 en 8, wat lijkt aan te sluiten op de natuurlijke ontwikkeling van een kronkelwaard (zie hoofdstuk 0). In het zandpakket bevindt zich een zeer humeus kleilaagje (laag 6). Op het zand is kleiig veen gevormd (lagen 9 en 10 in respectievelijk de top van buis 2 en de basis van buis 1), wat aangeeft dat er dan sprake is van permanent natte omstandigheden, waardoor organisch materiaal bewaard is gebleven. Dit is een weerspiegeling van de uiteindelijke vernatting van het landschap. Het veen gaat over in venige klei (laag 11) en zeer humeuze klei (laag 12), waarna er klei is afgezet, die een behoorlijke mate van oxidatie kent (lagen 13 t/m 18). Het betreft hetzelfde kleipakket dat het veen elders in dit gebied heeft afgedekt. De klei wordt siltiger naar de top.

De top van het zandpakket (lagen 2 t/m 8) is bemonsterd voor sedimentologisch onderzoek. Het betreft tien stalen voor gloeiverliesonderzoek en vijf stalen voor granulometrisch onderzoek. De top van het zand in laag 8, net onder de overgang naar het kleiige veen (laag 9), is eveneens bemonsterd voor macrorestenonderzoek. Aangezien het waarderend onderzoek een verrassende vondst opleverde, is een aanvullend macrorestenstaal genomen in het zand (top van laag 4).



Figuur 10: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1018, gezet op de top van de oostelijke rug, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAX).

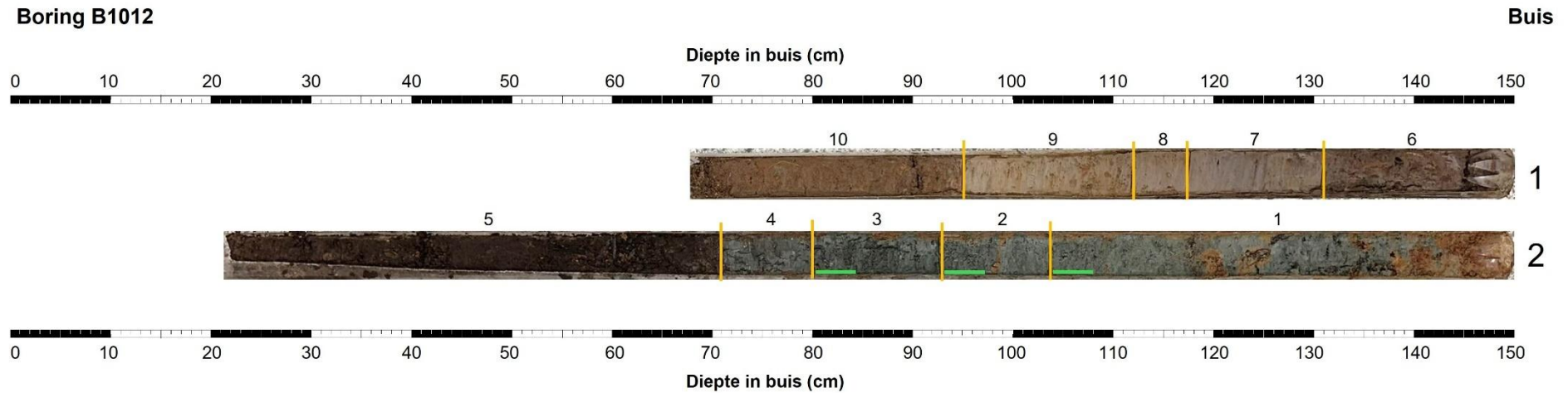
Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, gele cirkel = staalname voor onderzoek naar gloeiverlies, blauwe stip = staalname voor granulometrisch onderzoek, 1 = donkergrijs, sterk kleilig zand met harde concreties, 2 = grijs zand, licht kleilig aan de basis, 3 = donkergrijs zand, 4 = donkergrijs zand, sterk gespikkeld, 5 = grijs zand, licht gespikkeld, 6 = bruine, zeer humeuze klei, 7 = grijs fijn zand, 8 = grijs, licht kleilig fijn zand, 9 = donkerbruin kleilig veen, 10 = donkerbruin, licht kleilig veen, 11 = donkerbruine venige klei met plantenresten, 12 = bruine, zeer humeuze klei met plantenresten, 13 = donkerbruinoranje klei, 14 = grijsoranje klei, 15 = oranjebeige siltige klei, 16 = donkergrijsoranje klei, 17 = oranjebruingrijze siltige klei, 18 = oranjegrijze siltige klei, 19 = bruine leem.

2.2.5 B.1012: transect oostelijke rug

Boring B.1012 is een boring in een transect van de top van de oostelijke rug (B1018) richting het zuidzuidoosten, waarbij B.1012 zich hoger op de rug bevindt dan boring B.1014. Het doel van het natuurwetenschappelijk onderzoek was om informatie te vergaren omtrent het gebruik van plantaardige gewassen door de prehistorische bewoners van dit gebied, en daarmee de vroegere voedingsgewoonten. Bovendien kan het inzicht geven in de samenstelling van de lokale vegetatie op de oostelijke rug.

In totaal zijn 10 lagen onderscheiden in boring B.1012 (zie Figuur 11). Onderin buis 2 bevindt zich een zandpakket, dat geleidelijk aan steeds kleiiger wordt. De onderste laag, laag 1, is licht kleiig zand, laag 2 erboven is sterk kleiig, terwijl laag 3 eerder getypeerd kan worden als zandige klei. Hierboven bevindt zich een kleilaag (laag 4). Dit past bij een gebruikelijke opbouw van een kronkelwaard, waarbij er sprake is van onderliggende beddingafzettingen met daarop oeverafzettingen. Op een zeker moment is de oostelijke rug verdrongen en is er sprake van een zeer nat en weinig dynamisch milieu waarin zich veen heeft kunnen vormen (laag 5). Op het veen zijn kleilagen afgezet (lagen 6 t/m 10), die naar de top steeds siltiger worden.

Er zijn drie macrorestenstalen genomen: één uit de top van laag 3 (zandige klei), één uit de top van laag 2 (sterk kleiig zand) en één uit de top van laag 1 (licht kleiig zand).



Figuur 11: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1012, de middelste boring in een transect van de top van de oostelijke rug richting het zuiden, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAX).

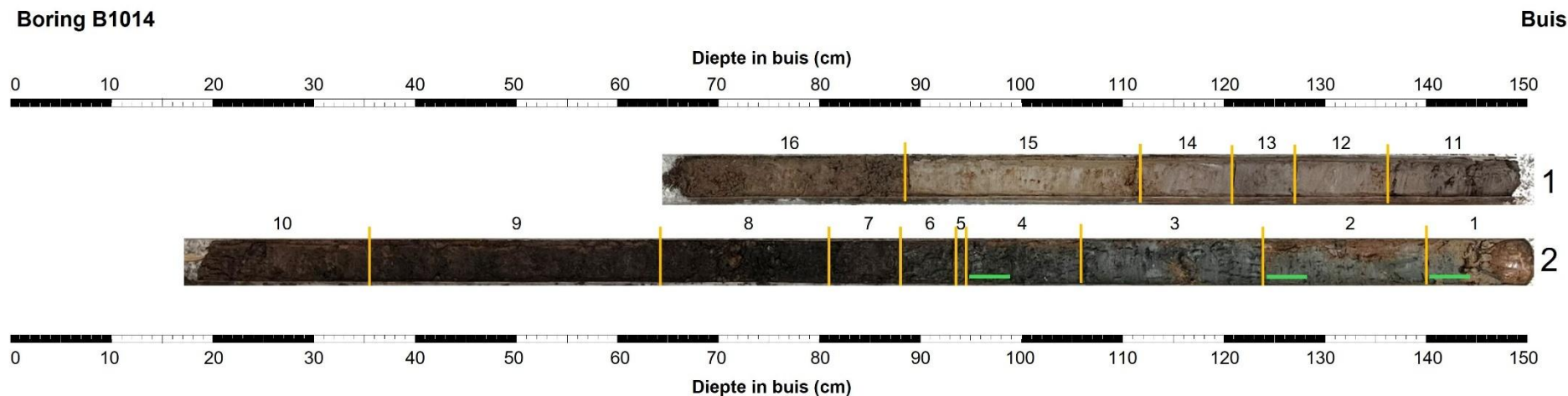
Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = donkergrijs, licht kleiig zand met plantenresten, 2 = donkergrijs sterk kleiig zand, 3 = donkergrijze zandige klei, 4 = donkergrijze klei, 5 = veen, 6 = donkerbruine, zeer humeuze, licht siltige klei, 7 = bruine klei, 8 = grijsbruine klei, 9 = bruinbeige licht siltige klei, 10 = donkeroranjebruine kleiige silt.

2.2.6 B.1014 transect oostelijke rug

Boring B.1014 is gezet in een transect vanaf de top van de oostelijke rug (B.1018) naar de flank in zuidzuidoostelijke richting, waarbij B1014 zich lager op de rug bevindt dan boring B.1012. Het doel van het natuurwetenschappelijk onderzoek was om informatie te vergaren omtrent het gebruik van plantaardige gewassen door de prehistorische bewoners van dit gebied, en daarmee de vroegere voedingsgewoonten. Bovendien kan het inzicht geven in de samenstelling van de lokale vegetatie op de oostelijke rug.

In totaal zijn 16 lagen onderscheiden in de twee buizen van boring B.1014 (zie Figuur 12). Onderin buis 2 bevindt zich een fijnzandige laag (laag 1), die overgaat in een pakket zandige klei (lagen 2 t/m 5), gevolgd door een laagje zeer humeuze klei (laag 6). Het is goed mogelijk dat het hier gaat om een vegetatielaagje dat zich heeft gevormd in de oeverafzettingen die zich op de zandige beddingafzettingen bevinden. Als er op de oostelijke zandrug sprake is van rustige, en permanent natte omstandigheden, heeft zich hier veen kunnen vormen (lagen 7, 8 en 9), dat aan de basis en de top wat kleiiger is. Hier is dus sprake van een verdrongen rug. Hierop is venige klei afgezet (laag 10), gevolgd door een pakket klei (lagen 11 t/m 16) dat aan de basis en in de top siltiger is.

De top van laag 6 (de zeer humeuze klei net onder het veen), de top van laag 4 (zandige klei), van laag 2 (eveneens zandige klei) en van laag 1 (fijn zand) zijn bemonsterd voor macrorestenonderzoek.



Figuur 12: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1014, de meest zuidelijke boring in een transect van de top van de oostelijke rug richting het zuiden, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAX).

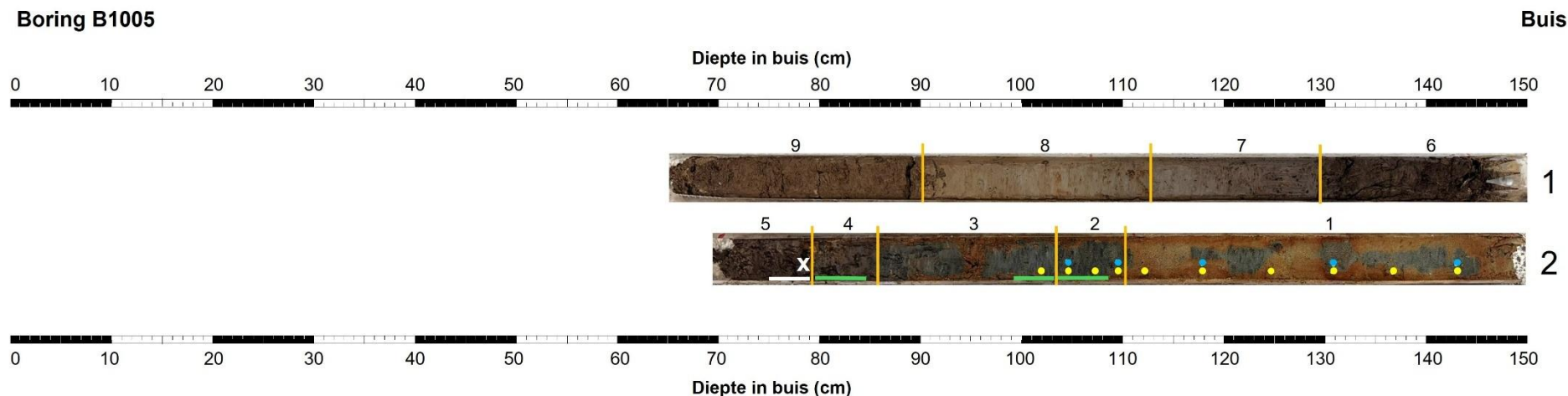
Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = grijs fijn zand met resten Equisetum, 2 = grijze zandige klei, 3 = donkergrijze, zeer humeuze licht zandige klei met stukje (wortel?)hout op 116 cm, 4 = donkergrijsbruine zeer humeuze zandige klei, 5 = bruine zandige klei, 6 = donkerbruine, zeer humeuze klei, 7 = donkerbruin kleiig veen, 8 = donkerbruin veen met houtresten, 9 = donkerbruin kleiig veen, 10 = donkerbruine venige klei, 11 = donkergrijsbruine, licht siltige klei, 12 = grijsbruine klei, 13 = donkergrijsbruine klei, 14 = grijsbruine klei, 15 = beigegrijze siltige klei, 16 = donkerbruine kleiige silt.

2.2.7 B.1005: top westelijke rug

Boring B.1005 is gezet op de top van het westelijke deel van de kronkelwaardrug. Het doel van het natuurwetenschappelijk onderzoek van deze boring is het dateren van het moment van afdekking van het hoogste punt van de kronkelwaardrug in het onderzoeksgebied en tevens het biotische landschap ten tijde van deze verdrinking te karakteriseren. Om de genese en samenstelling van de westelijke zandrug beter te begrijpen is sedimentologisch onderzoek uitgevoerd aan de top (korrelgrootte- of textuuranalyse (granulometrie) en gloeiverlies of *loss-on-ignition* (LOI)). Bovendien is aan de hand van macrorestenonderzoek onderzocht wat de samenstelling was van de lokale vegetatie en of er sprake is van de aanwezigheid van antropogene indicatoren (zoals zaden of wellicht verkoold parenchym van gebruiksplanten) die zouden kunnen duiden op het gebruik van het landschap door de prehistorische mens.

In totaal zijn negen lagen onderscheiden in boring B1005 (zie Figuur 13). Het zandpakket in de basis van buis 2 (lagen 1 en 2) is geïnterpreteerd als zijnde de beddingafzettingen van de kronkelwaardrug. Op het zand zijn oeverafzettingen gevormd, bestaande uit zandige klei (laag 3), die overgaat in een pakket zeer humeuze klei (laag 4). Hierna is het milieu dusdanig (permanent) nat geworden dat er veenvorming plaats kon vinden (laag 5). Het veen wordt kleiig in de basis van buis 1 (laag 6), waarna er klei is afgezet (lagen 7, 8 en 9), zoals dat ook elders in het gebied heeft plaatsgevonden.

De top van het zand in lagen 1 en 2 is bemonsterd voor sedimentologisch onderzoek. Het betreft negen stalen voor gloeiverliesonderzoek en vijf stalen voor granulometrisch onderzoek. De top van dit zandpakket is eveneens bemonsterd voor macrorestenonderzoek. Ook de basis van de zandige klei (laag 3) is bemonsterd voor een gloeiverliesanalyse en aanvullend macrorestenonderzoek. Daarnaast is de top van de zeer humeuze klei net onder het veen (laag 4) bemonsterd voor macrorestenonderzoek en is de basis van het veen (laag 5) bemonsterd voor palynologisch en daterend onderzoek.



Figuur 13: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1005, gezet op de top van de westelijke rug, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAX).

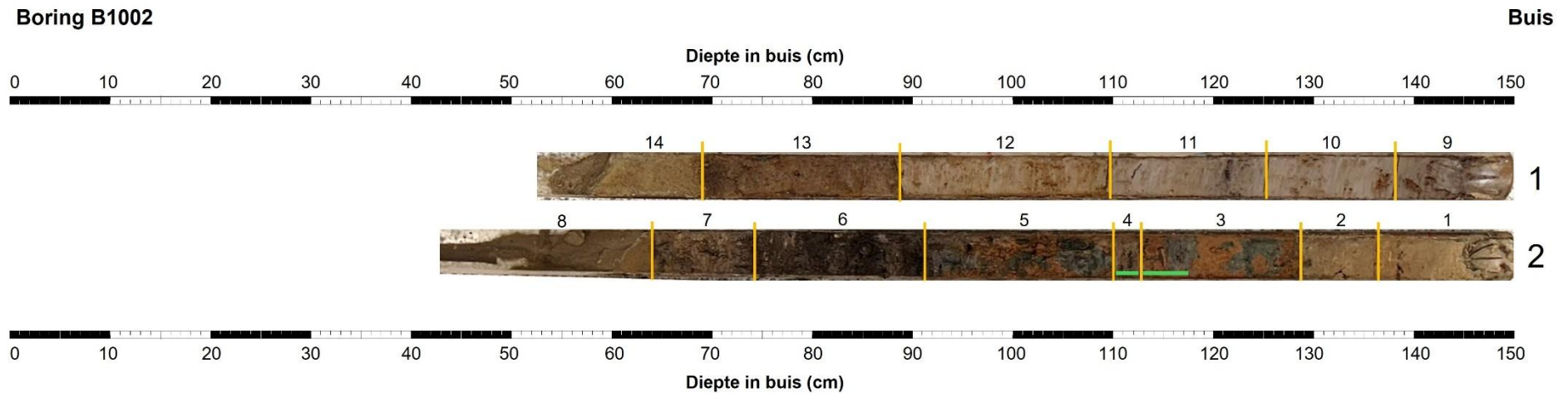
Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ^{14}C , groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, gele cirkel = staalname voor onderzoek naar gloeiverlies, blauwe stip = staalname voor granulometrisch onderzoek, 1 = grijs zand, 2 = donkergrijs licht kleiig zand (houtskool?), 3 = donkergrijze zandige klei, 4 = bruine zeer humeuze klei, 5 = donkerbruin kleiig veen, 6 = donkerbruin kleiig veen, 7 = bruingrijze klei, 8 = beigegrijze siltige klei, 9 = bruine siltige klei, zandig naar de top.

2.2.8 B.1002: transect westelijke rug

Boring B.1002 is een boring in een transect van de top van de westelijke rug (B.1005) richting het geulensysteem, waarbij B.1002 zich hoger op de rug bevindt dan boring B.1001, maar lager dan boring B.1005. Het doel van het natuurwetenschappelijk onderzoek was om informatie te vergaren omtrent het gebruik van plantaardige gewassen door de prehistorische bewoners van dit gebied, en daarmee de vroegere voedingsgewoonten. Bovendien kan het inzicht geven in de samenstelling van de lokale vegetatie op de westelijke rug.

In totaal zijn 14 lagen onderscheiden in boring B.1002 (zie Figuur 14). De basis van buis 2 bevat een pakket zand (lagen 1, 2 en 3), geïnterpreteerd als de top van de beddingafzettingen van de westelijke kronkelwaardrug. Hierop is een pakket zandige klei afgezet (lagen 4 en 5). Dit zijn de oeverafzettingen die zijn afgezet bij het buiten de oevers treden van rivieren in de omgeving. Nadat de flank van de rug permanent onder water stond, heeft zich hier veen kunnen vormen (laag 6). Op het veen zijn kleilagen afgezet (lagen 7 t/m 12). De zandige laag ertussen (laag 8) bevindt zich in de top van buis 2 en lijkt een vorm van verstoring, mogelijk als gevolg van het boren. Deze laag is uitgelopen naar de top van de buis. Vanaf laag 13 wordt het sediment weer zandiger.

De top van laag 3 is bemonsterd voor macrorestenonderzoek. Aanvullend is een extra staal genomen uit de zandige klei erboven (laag 4).



Figuur 14: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1002, de middelste boring in een transect van de top van de westelijke rug richting het geulensysteem ten noorden, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAX).

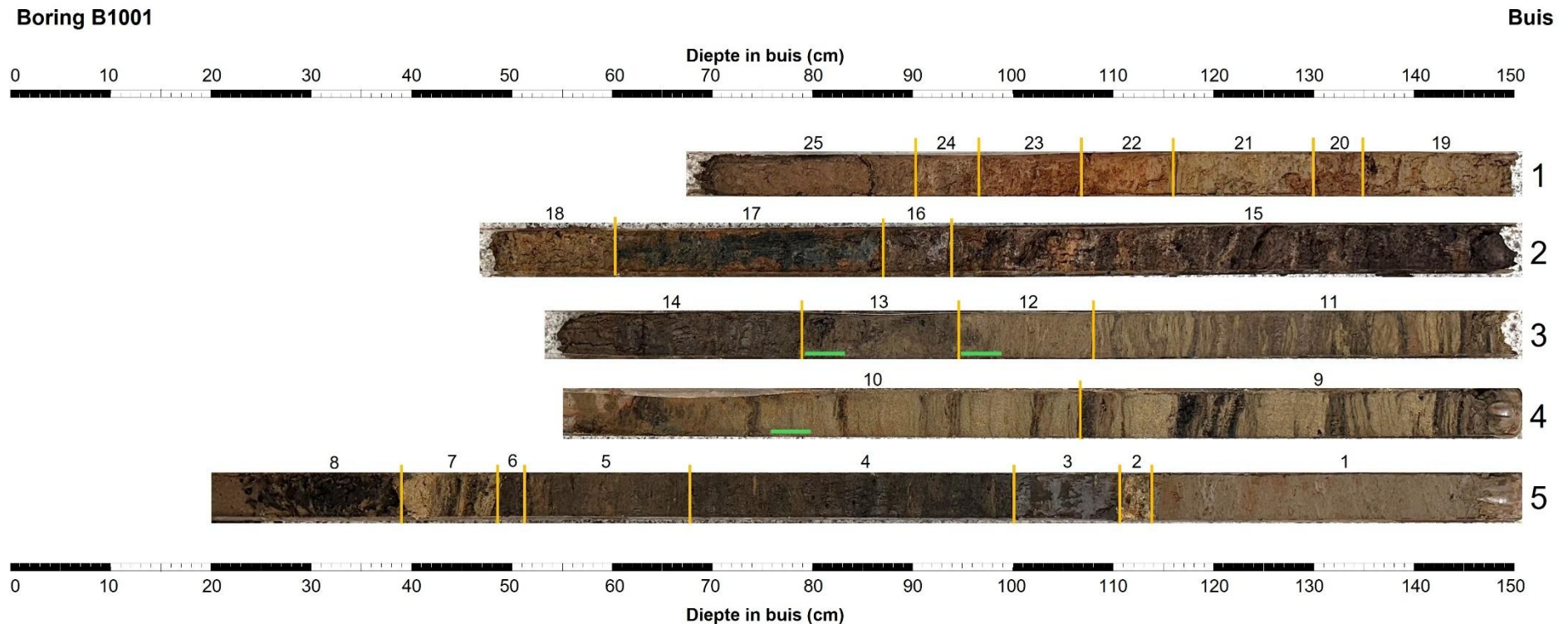
Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = beigebuin zand, 2 = grijsbruin kleiig zand, 3 = donkergrijs zand, 4 = bruine zandige klei, 5 = donkergrijze zandige klei, 6 = veen, 7 = bruine klei met leem, 8 = grijsbruin fijn zand (verstoring?), 9 = donkerbruingrijze klei, 10 = grijze klei, lichte oxidatie, 11 = donkergrijze klei (houtskoollaagje? op 122 cm), 12 = oranjegrijze klei, veel oxidatie, 13 = donkeroranje-grijsbruin kleiig zand, oxidatie, 14 = oranjegrijs fijn zand, oxidatie.

2.2.9 B.1001: transect westelijke rug

Boring B.1001 is een boring in een transect van de top van de westelijke rug (B.1005) via de flank (B.1002) richting het geulensysteem, waarbij B.1001 zich het dichtst bij de geul bevindt. Het doel van het natuurwetenschappelijk onderzoek is om informatie te vergaren omtrent het gebruik van plantaardige gewassen door de prehistorische bewoners van dit gebied, en daarmee de vroegere voedingsgewoonten. Bovendien kan het inzicht geven in de samenstelling van de lokale vegetatie op de uiterste flank van de westelijke zandrug.

In totaal zijn 25 lagen onderscheiden in de vijf buizen van boring B.1001 (zie Figuur 15). De basis van buis 1 is siltig (laag 1), gevolgd door grof zand (laag 2). Hierop is organogene klei geaccumuleerd (laag 3), die aandoet als geulvulling. Ook de bovenliggende lagen zijn humeus, maar zandig (lagen 4 en 5). Hierop is een laag licht siltige klei afgezet, die eveneens zeer humeus is (laag 6). De lithologie suggereert een aquatisch afzettingmilieu. Laag 7 bestaat uit grof zand, wat duidt op een hoog-energetisch afzettingmilieu. Hierop is een dik pakket hout (mogelijk wortelhout) bewaard gebleven (laag 8). Vervolgens is er in buis 4 sprake van een gelaagd zandpakket dat rijk is aan diverse humeuze, soms zelfs venige lagen. Deze lagen bevinden zich dicht op elkaar in laag 9 dan in laag 10. Aangezien boring B.1001 zich bevindt op de grens van de westelijke zandrug naar de noordelijke geul is het goed denkbaar dat zich hier als gevolg van een reactivatie van de geul met enige regelmaat afwisselend organisch materiaal en zand konden ophopen. De gelaagdheid suggereert afzetting onder water. In buis 3 zetten de gelaagde zandafzettingen zich voort, maar lijkt de korrelgrootte af te nemen, wat het natuurlijke verloop van de ontwikkeling van een kronkelwaard onderstreept. Onderin is er sprake van een sterke afwisseling van dunne laagjes zand en klei (laag 11). Deze laag gaat over in fijn zand (laag 12), kleiig zand (laag 13) en zandige klei (laag 14). Ten slotte wordt deze locatie dusdanig (permanent) nat dat veen kan accumuleren (laag 15). Hierop bevindt zich een organogene kleilaag, die gyttja-achtig aandoet (laag 16). Ten slotte is klei afgezet (lagen 14 t/m 25), die met name vanaf laag 20 sporen van oxidatie vertoont.

Hoewel de sequentie in boring B.1001 vanwege de vele organisch-rijke lagen zich uitstekend leent voor uitgebreid natuurwetenschappelijk onderzoek, is ingezet op de beoogde staalname, namelijk in de top van de westelijke zandrug. Deze top is niet eenduidig aan te wijzen. De top van laag 13 is de stratigrafisch hoogste zandlaag en is om deze reden bemonsterd ten behoeve van macrorestenonderzoek. Op basis van de waardering lijkt het aannemelijk dat dit pakket is gevormd onder waterverzadigde omstandigheden, waarop een aanvullend macrorestenstaal is genomen in de top van laag 12. Ook hier zijn aanwijzingen voor een aquatisch milieu. Daartoe is nog een aanvullend macrorestenstaal genomen in de top van laag 10, waarbij opgemerkt dient te worden dat deze laag, die zich bovenin buis 3 bevindt, is 'uitgelopen' in de buis. Het staal is afkomstig uit het niveau net onder het uitgelopen deel.



Figuur 15: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1001, de meest noordelijke boring in een transect van de top van de westelijke rug richting het geulensysteem ten noorden, bestaande uit 5 buizen (buis 1 = top, buis 5 = basis) (© BIAx).

Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = grijze silt, 2 = geel grof zand, 3 = donkerbruine licht siltige klei, 4 = donkerbruin zeer humeus kleiig zand, fijner naar de top, 5 = bruine kleiige silt/fijn zand, 6 = donkerbruine licht siltige klei, 7 = geel gelaagd grof zand, 8 = houtresten, 9 = grijsbeige grof zand met zeer humeuze (bijna venige) lagen, 10 = grijsbeige zand met minder humeuze lagen dan de onderliggende laag, 11 = grijsbeige gelaagde zand en klei, 12 = groen/grijsbeige fijn zand, 13 = grijsbruin kleiig zand, 14 = donkerbruine zeer humeuze (venige) licht zandige klei, 15 = veen met plantenresten, 16 = bruine venige klei, 17 = donkergrijze klei (gyttja-achtig), 18 = beigegrijze klei met leem, 19 = beigegrijze klei met leem, 20 = oranjebruine klei, 21 = beigegrijze lemige klei, 22 = grijs/roodoranje klei, sterke oxidatie, 23 = grijsbruinoranje sterk siltige klei, 24 = grijze klei, 25 = oranjegrijsbruine lemige klei.

2.3 Beschrijving en analyse micromorfologische monsters³⁹

2.3.1 B.1003A

Algemeen

De grondmassa bestaat uit slecht gesorteerd, glauconiethoudend, kalkloos zand. De korrelgroottes van het zand variëren qua formaat tussen de fracties uiterst fijn tot en met zeer grof zand. De grondmassa bevat een geringe hoeveelheid silt. De siltkorrels beslaan ongeveer 5% van de grondmassa. Ongeveer 5% van de grondmassa bestaat uit uiterst-, en zeer fijn zand, 25% bestaat uit matig fijn zand, 55% bestaat uit matig grof zand en 10% uit zeer grof zand. Rondom de korrels zijn heldere kleihuidjes aanwezig. De grondmassa is gebioturbeerd door wortelgangen. In veel van deze wortelgangen zijn onherkenbare wortelresten aanwezig die onder gekruist licht geen dubbelbrekende eigenschappen vertonen en derhalve geen cellulose meer bevatten wat inhoudt dat het hier niet om 'verse' resten gaat. In veel van de wortelgangen en in de directe omgeving van de wortelgangen is sideriet aanwezig. In de grondmassa zijn geen artefacten aanwezig.

Laag 1 55-65 cm

Rondom de korrels zijn zwak ontwikkelde kleihuidjes aanwezig. In holtes tussen de zandkorrels is zwak humeuze, zwak siltige, ijzerhoudende klei aanwezig. Deze siltkorrels hebben een maximale doorsnede van 31 micron. De grondmassa is sterk gebioturbeerd door wortelgangen.

Laag 2 65-71 cm

Rondom de korrels zijn zwak ontwikkelde kleihuidjes aanwezig. De grondmassa is zwak gebioturbeerd door wortelgangen. Verspreid door de grondmassa is op enkele plekken calciumijzerfosfaat aanwezig in de poriën tussen korrels.

Laag 3 71-82 cm

Rondom de korrels zijn minimaal ontwikkelde kleihuidjes aanwezig. De grondmassa is zwak gebioturbeerd door wortelgangen.

Tabel 7: analyseresultaten B.1003A (tussen 55 en 82 cm).

Cm's boor- kolom	Cm's - mv	Laag nr.	Lutum	Silt	Zand		Glauconiet	Sideriet	Calcium- ijzer- fosfaat	Klei- huidjes	Wortel- gangen	Artefacten
					fijn	grof						
55-65	116- 126	1	+/-	-	+/-	+	+/-	+	--	+/-	++	--
65-71	126- 122	2	-	-	+/-	+	+/-	+	-	+/-	+/-	--
71-82	132- 143	3	-	-	+/-	+	+/-	+	--	-	+/-	--

2.3.2 B.1011A

Algemeen

De grondmassa bestaat uit slecht gesorteerd, glauconiethoudend, siltig, kalkloos zand. De korrelgroottes van het zand variëren qua formaat tussen de fracties uiterst fijn tot en met matig grof zand. De siltkorrels beslaan ongeveer 10% van de grondmassa. Ongeveer 20% van

³⁹ VAN KAPPEL 2025, pp. 9-10.

de grondmassa bestaat uit uiterst-, en zeer fijn zand, 50% bestaat uit matig fijn zand en 15% uit matig grof zand. De korrels zijn zwak tot matig afgerond. Rondom de korrels zijn kleihuidjes aanwezig. De grondmassa wordt doorsneden door wortelgangen. Deze wortelgangen zijn opgevuld met onherkenbare wortelresten die onder gekruist licht geen dubbelbrekende eigenschappen vertonen. In de grondmassa zijn geen artefacten aanwezig.

Laag 1 36,5-44,5 cm

Rondom de korrels zijn zwak ontwikkelde kleihuidjes aanwezig. De grondmassa wordt doorsneden door een zwakke hoeveelheid wortelgangen. De grondmassa bevat een geringe hoeveelheid glauconiet.

Laag 2 44,5-64,5 cm

Rondom de korrels zijn minimaal ontwikkelde kleihuidjes aanwezig. De grondmassa wordt doorsneden door enkele wortelgangen.

Tabel 8: analyseresultaten B.1011A (tussen 36,5 en 64,5 cm).

Cm's boor- kolom	Cm's - mv	Laag nr.	Lutum	Silt	Zand		Glauconiet	Sideriet	Calcium- ijzer- fosfaat	Klei- huidjes	Wortel- gangen	Artefacten
					fijn	grof						
36,5- 44,5	85- 93	1	-	+/-	++	-	-	--	--	+/-	+/-	--
44,5- 64,5	93- 113	2	-	+/-	++	-	+/-	--	--	-	-	--

2.4 Abiotische landschap: resultaten en interpretatie daterend, sedimentologisch en bodem-micromorfologisch onderzoek⁴⁰

Om de resultaten van het palynologisch onderzoek goed te kunnen interpreteren, is het belangrijk te weten hoe het landschap op en rondom de kronkelwaardrug zich doorheen de tijd heeft gevormd. Hiervoor zijn de resultaten van het daterend ¹⁴C-onderzoek (zie VERBRUGGEN 2025, bijlage 12) en die van het sedimentologisch onderzoek (zie VERBRUGGEN 2025, bijlage 13 & 14) (Figuur 24 en Figuur 25) van belang.

2.4.1 Veenvorming tussen de ruggen

Uit het daterend onderzoek blijkt dat de oudste onderzochte organogene lagen zich hebben gevormd in het midden-neolithicum, richting de overgang naar het laat-neolithicum (waarschijnlijk tussen 3655-3523 v.Chr.).⁴¹ Het betreft de basis van het veen in B.1017, gezet op de overgang van de zijgeul naar de oostelijke rug. Het feit dat de basis van dit veen ouder is dan de basis van B.1016 uit het diepste deel van de zijgeul (3330-2922 v.Chr.), bevestigt de vermoedens dat de daadwerkelijke basis van deze zijgeulvulling niet is bereikt in B.1016 (zie paragraaf 1.1.1). Het diepste deel zal namelijk op basis van de lagere stratigrafische positie eerder zijn opgevuld dan de flank. Hoeveel er precies ontbreekt van de onderzijde van de zijgeulvulling in B.1016 is uiteraard niet te zeggen, maar dit zal zeker enkele eeuwen zijn.

De datering van de basis van het veen in B.1017, in combinatie met de locatie op de overgang van de zijgeul naar de flank van de oostelijke rug, suggereert dat de veenlaag gezien moet worden als (rest)geulvulling van de zijgeul, niet als veen dat zich buiten een geul heeft gevormd. Kortom, de scheiding van de kronkelwaardrug in een rug ten westen en een ten

⁴⁰ VERBRUGGEN 2025, pp. 16-20; VAN KAPPEL 2025, pp. 11-16.

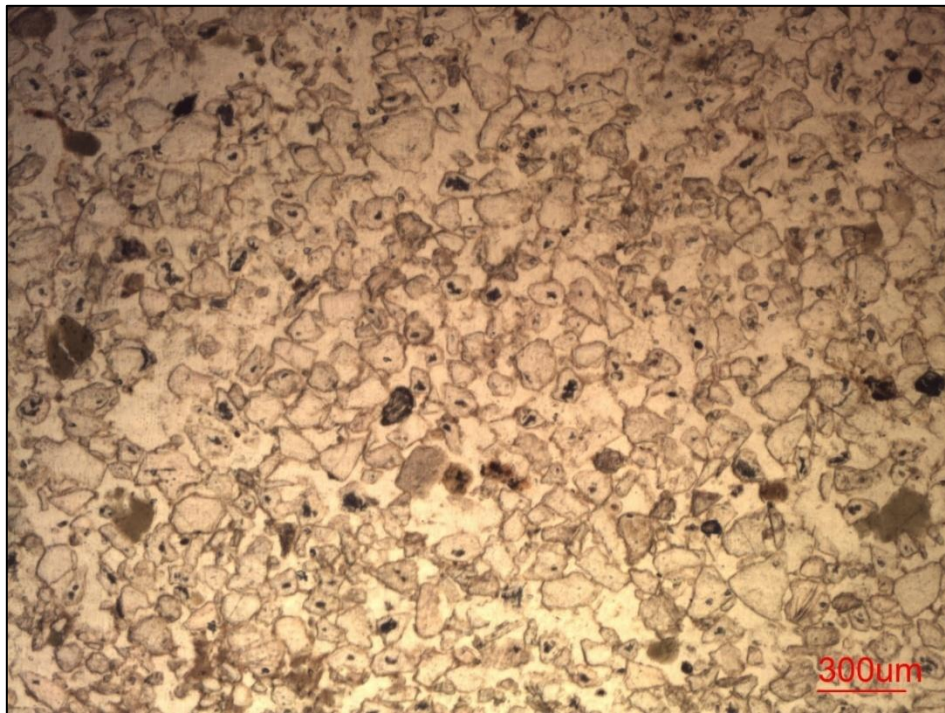
⁴¹ Een dateringsinterval tussen 3701-3685 v.Chr. (2,7%) kan niet geheel worden uitgesloten.

oosten van het onderzoeksgebied was al in of vóór het midden-neolithicum een feit. De dateringen van het midden en de top van de zijgeulvulling tonen dat de laagte tussen beide ruggen gedurende meer dan een millennium opgevuld is geraakt. De top van die vulling dateert in de tweede helft van het finaal-neolithicum, tussen 2868-2462 v.Chr. voor de flank van de oostelijke rug (B.1017) en tussen 2450-2138 v.Chr. voor het midden van de geul (B.1016).

2.4.2 De kronkelwaardrug

Een kronkelwaard wordt hoofdzakelijk bij hoge waterstanden opgebouwd, waarbij het fijne materiaal door de helicoïdale (schroefdraadvormige) beweging hoger op de kronkelwaard wordt gebracht dan het grove materiaal.⁴² Bij een natuurlijke ontwikkeling van een kronkelwaard neemt de korrelgrootte van de zandige beddingafzettingen dan ook naar boven toe af. Meestal zijn kronkelwaarden bedekt met oeverafzettingen, die bij hoog water buiten de bedding van de rivier worden gevormd. De oeverafzettingen zijn zavelig tot kleilig en zijn daarmee fijnkorreliger dan de beddingafzettingen. Ze kennen ook een aflopend profiel, met een afname in korrelgrootte naar boven toe.⁴³ De overgang van bedding- naar oeverafzettingen verloopt meestal geleidelijk.⁴⁴

Het bodem-micromorfologisch onderzoek bevestigt de interpretatie van de zandrug(gen) als kronkelwaardrug. Op basis van de slechte sortering van het afgezette zand wordt de bemonsterde grondmassa geïnterpreteerd als her-afgezette rivierafzettingen. Dat de zandfractie in B.1003A grover is dan in B.1011A, vormt een aanwijzing dat de rivierdynamiek/stroomsnelheid ter hoogte van westelijke zandrug enigszins hoger lag dan bij oostelijke zandrug (Figuur 16, Figuur 17).

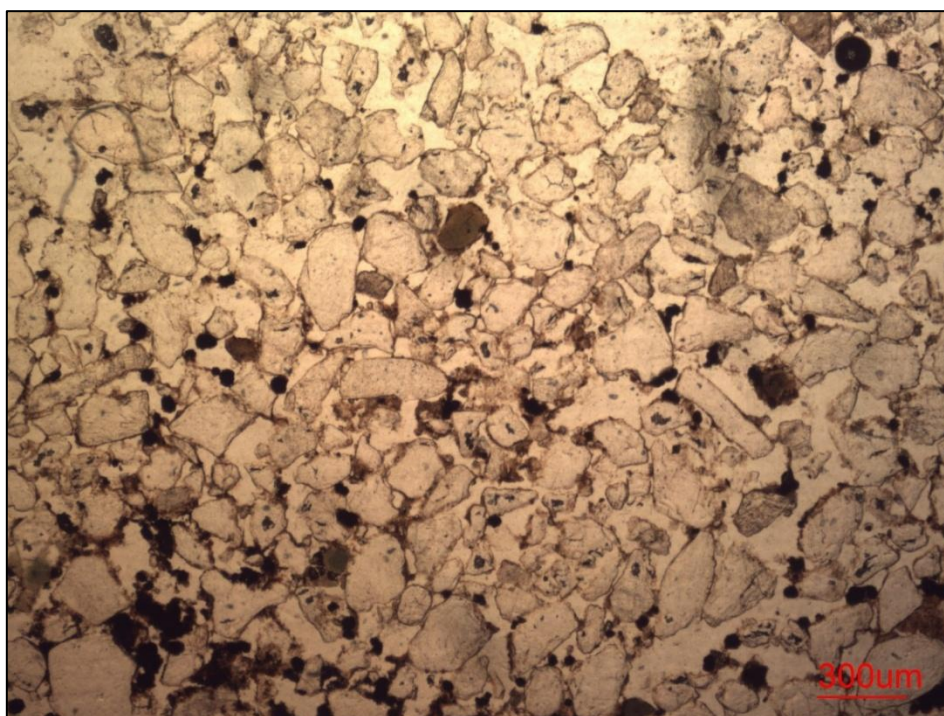


Figuur 16: Grondmassa laag 2 B.1011A, voornamelijk bestaand uit de fijne zand fractie (foto met doervallend licht).

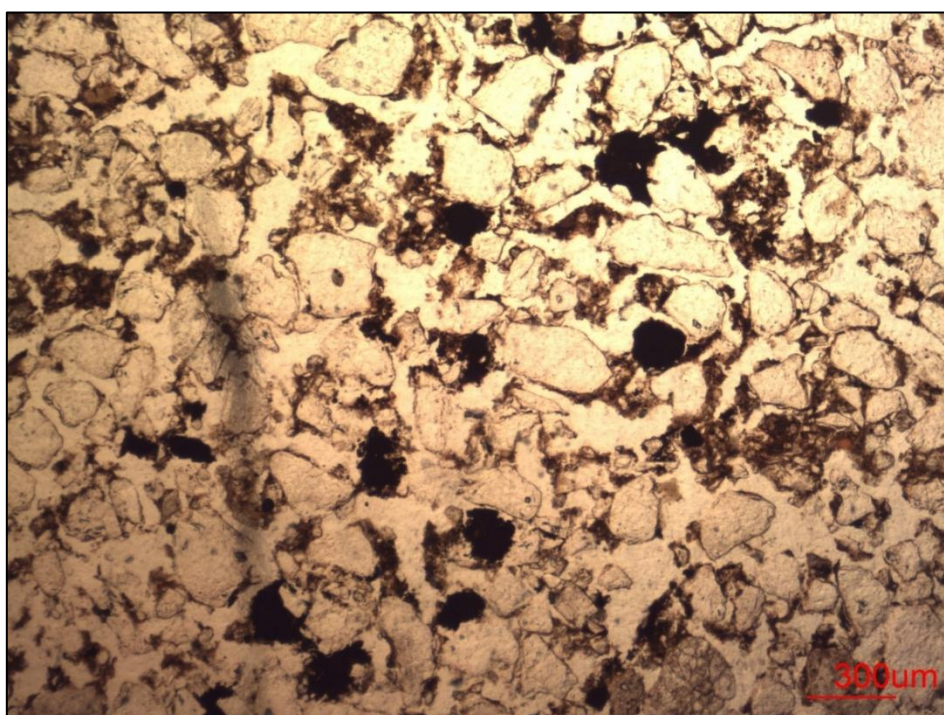
⁴² BERENDSEN 2011a, p. 268.

⁴³ BERENDSEN 2011b, p. 273.

⁴⁴ BERENDSEN 2011a, p. 269.

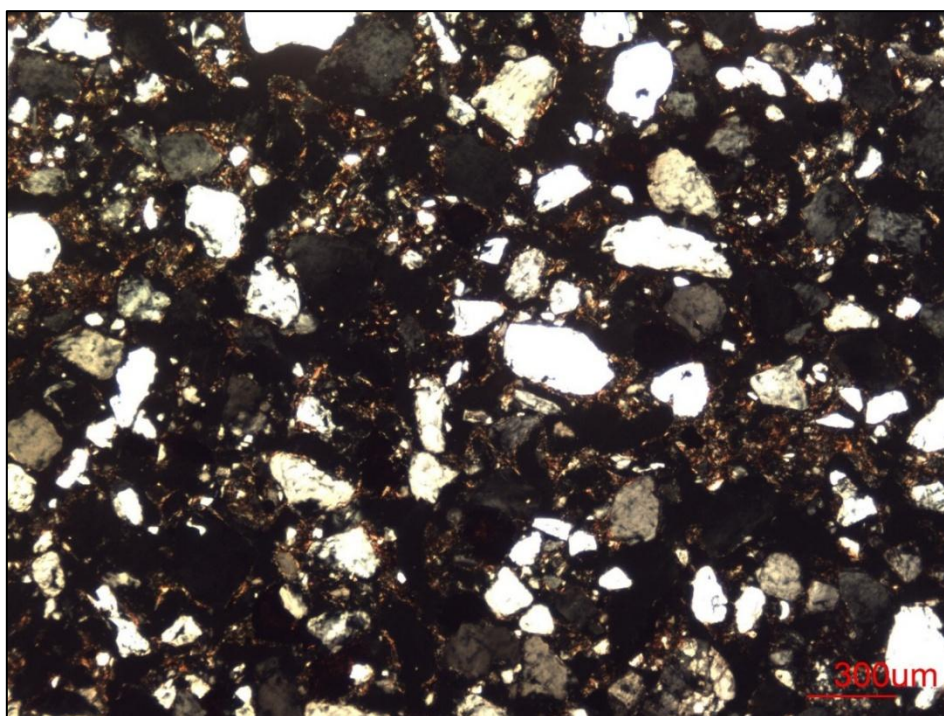


Figuur 17: Grondmassa laag 3 B.1003A, voornamelijk bestaand uit de grove zand fractie (foto met doorvallend licht).



Figuur 18: Grondmassa laag 1 B.1003A, met siltige klei tussen de zandkorrels (foto met doorvallend licht).

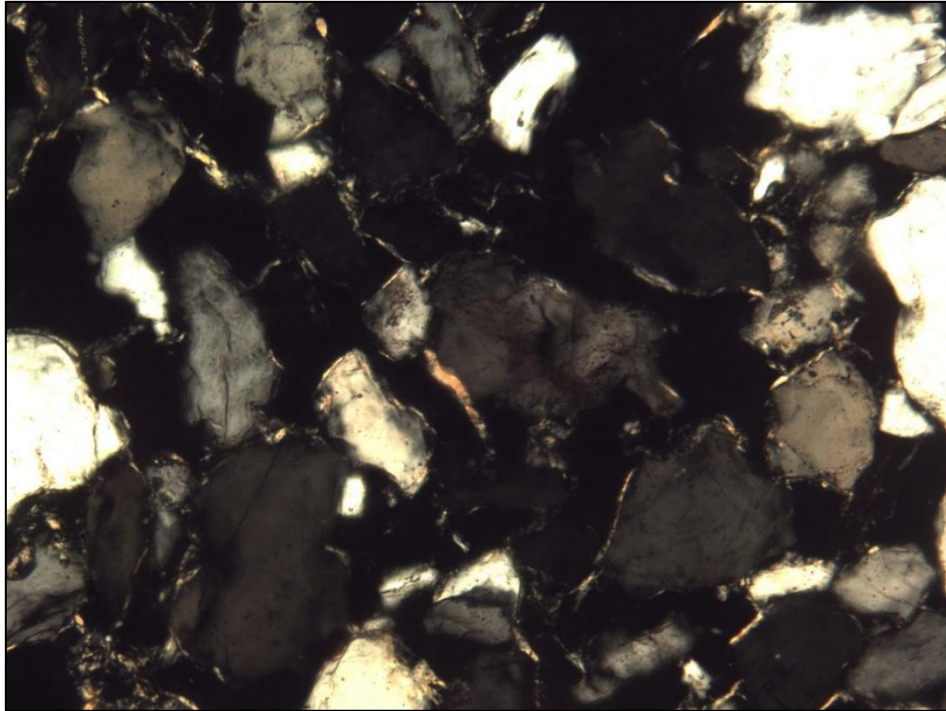
De aanwezigheid van siltige klei tussen de zandkorrels in de top van B.1003A (laag 1) vormt een aanwijzing dat de aanvoer van sediment vanaf de vorming van die laag onder veel rustiger omstandigheden plaatsvond (Figuur 18, Figuur 19).



Figuur 19: Grondmassa laag 1 B.1003A, met siltige klei tussen de zandkorrels (foto met gekruist licht).

In beide bemonsterde profielen zijn geen hiaten aanwezig, zoals afwijkende korrelgroottes of scherpe laagovergangen, die duiden op erosieve omstandigheden. Op macroniveau is in de beide boorkernen zichtbaar dat de sedimenten die vlak boven de bemonsterde profielen liggen een aflopend profiel in de korrelgrootte hebben. Dit houdt in dat sediment onder steeds rustigere afzettingssomstandigheden werd aangevoerd en ook daar geen erosie heeft plaatsgevonden (zie profielverloop Figuur 5 en Figuur 6).

De aanwezigheid van 'heldere' kleihuidjes rondom de zandkorrels duidt erop dat er, hoger dan het in dit onderzoek bemonsterde niveau, sprake is van een kleiige afzetting die enige tijd aan het oppervlak heeft gelegen. Vanuit dat niveau is klei in suspensie gegaan met regenwater (uitspoelingshorizont) die vervolgens als huidjes is neergeslagen rondom de zandkorrels (inspoelingshorizont) (Figuur 20).



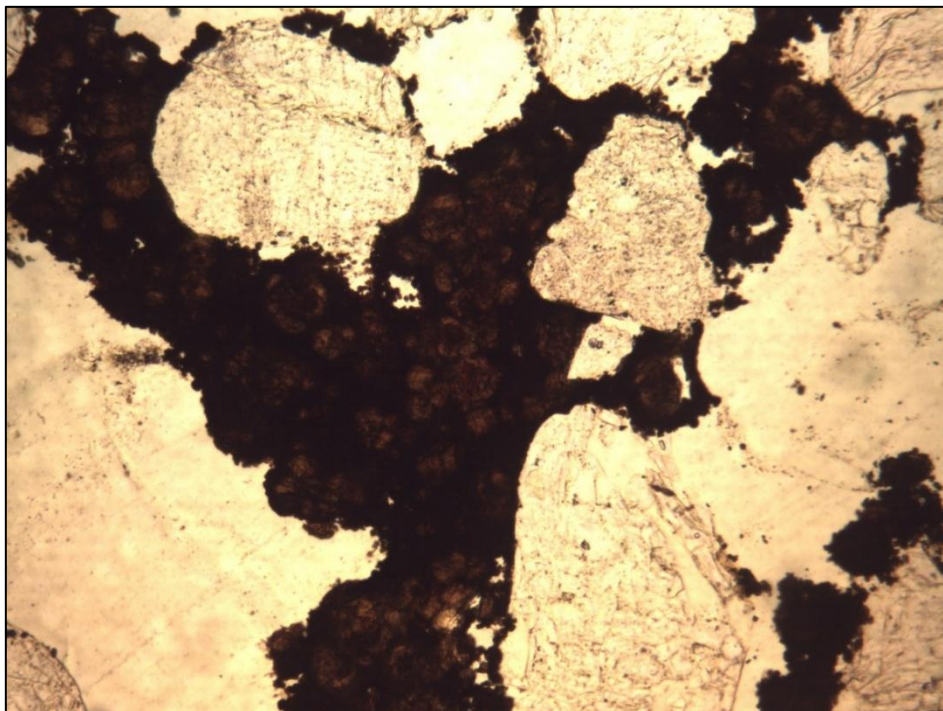
Figuur 20: Grondmassa laag 1 B.1003A, met zeer dunne kleihuidjes rondom de zandkorrels (foto met gekruist licht, 125x vergroot).

De helderheid van deze kleihuidjes vormt een aanwijzing dat de kleiafzetting van waaruit de kleiuitspoeling plaatsvond, begroeid was met vegetatie. Klei die uitspoelt vanuit onbegroeide/braakliggende oppervlakten zal namelijk niet helder zijn omdat deze een bijmenging heeft met 'stoffig' oppervlaktemateriaal.

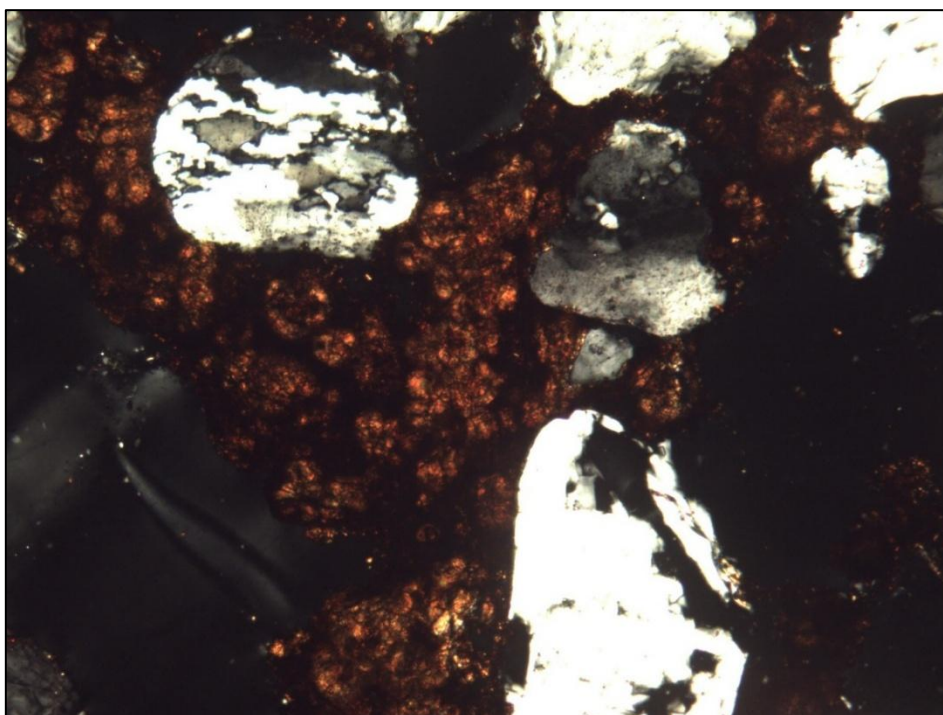
De klei is mobiel geworden door de natuurlijke verzurende omstandigheden die wortels in samenwerking met schimmels creëren. Deze scheiden namelijk zuren af om voedingsstoffen los te maken uit de bodem. Hierdoor verlaagt de pH-waarde van de bodem en wordt klei 'mobiel'.

Gezien de geringe dikte van de kleihuidjes heeft de bodem in bodemkundige termen op geen enkel moment langdurig aan het oppervlak gelegen. Er lijkt hier sprake van een opbouwend bodemprofiel, waarbij met tussenpozen 'dunne' laagjes kleihoudend sediment werden afgezet die na afzetting enige tijd aan het oppervlak lagen van waaruit bodemvorming plaatsvond, alvorens weer afgedekt te worden door hernieuwde kleiafzetting waarna het hele proces zich weer herhaalde. Dit is een aanwijzing dat er sprake is van een actieve kronkelwaard.

De aanwezigheid van sideriet in B.1003A vormt een aanwijzing dat de bemonsterde grondmassa vervolgens is vernat en permanent waterverzadigd is geraakt (Figuur 21, Figuur 22). Sideriet is een ijzercarbonaat dat enkel kan vormen onder gereduceerde omstandigheden. Aangezien het afgezette sediment geen kalk bevat, zal dit zijn aangevoerd met het stijgen van het grondwater of door kwel.

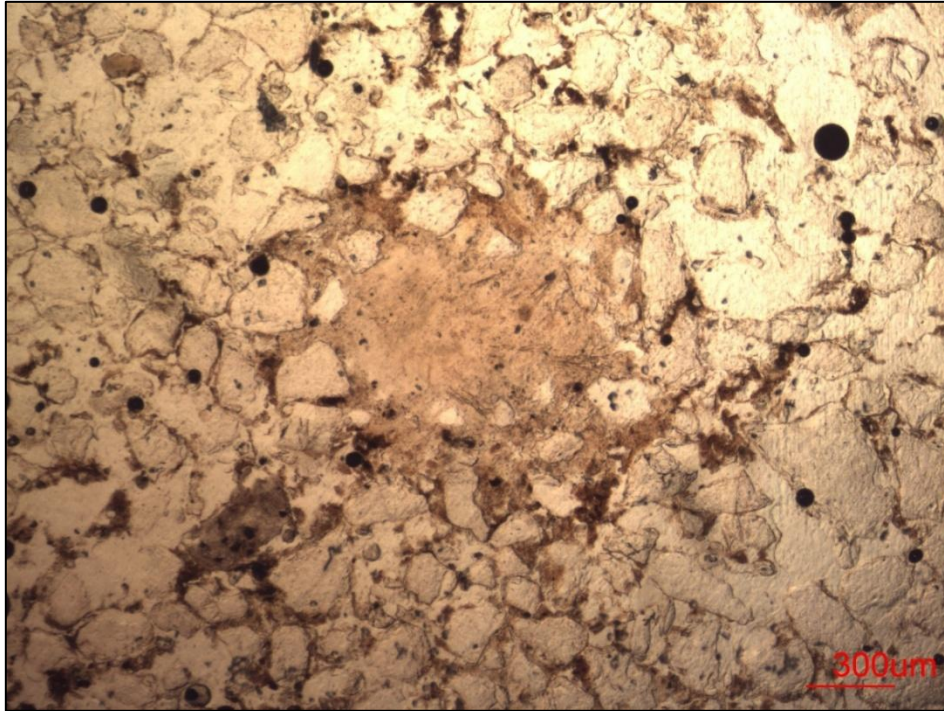


Figuur 21: Grondmassa B.1003A, met sideriet (bruine bolletjes) tussen de zandkorrels (foto met doorvallend licht, 125x vergroot).



Figuur 22: Grondmassa B.1003A, met sideriet klei tussen de zandkorrels (foto met gekruist licht, 125x vergroot).

Eenzelfde soort proces speelt voor de calciumijzerfosfaten (Figuur 23), waarbij het calcium en de fosfaten ook zijn aangevoerd met het grondwater of kwel.

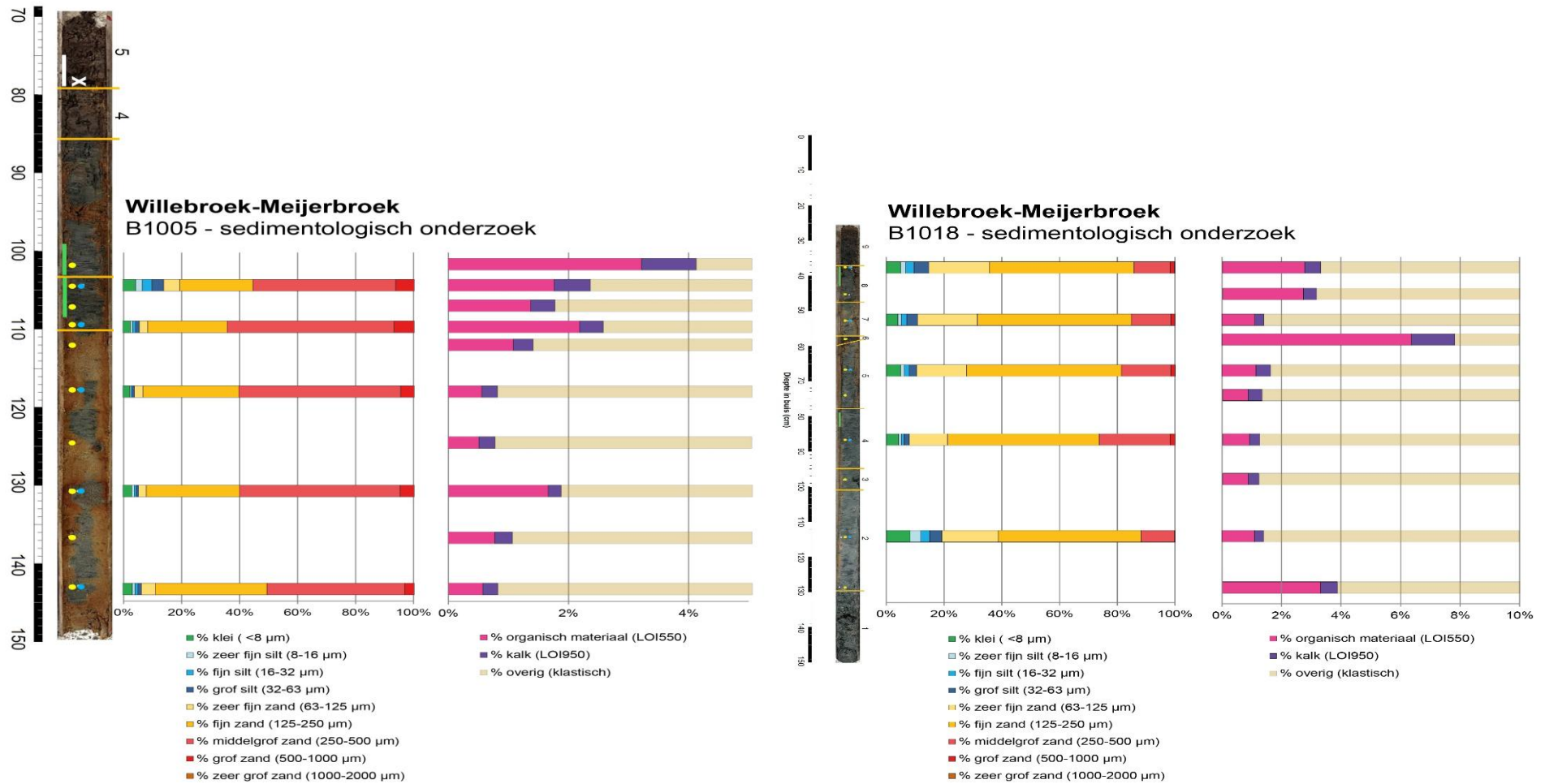


Figuur 23: Grondmassa laag 2 B1003A, met calciumijzerfosfaten tussen de zandkorrels (foto met doorvallend licht).

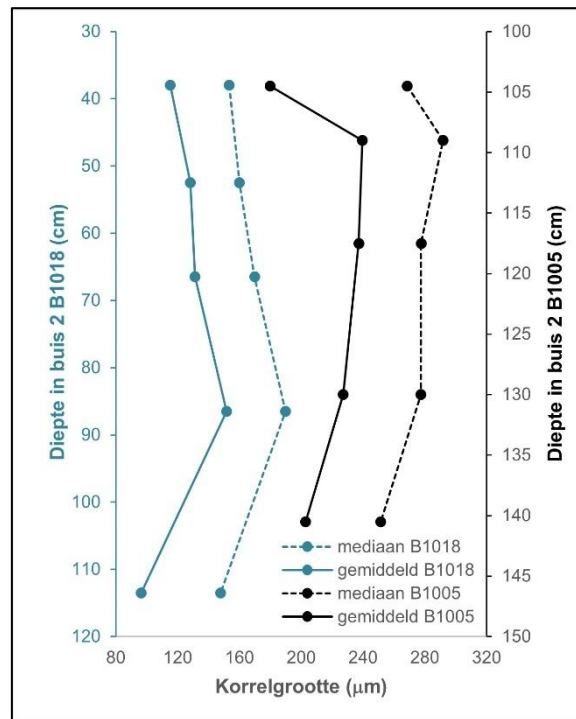
De opbouw van de kronkelwaardrug binnen het onderzoeksgebied kent een verwacht profiel. Naar de top van de rug is er sprake van een afname in de korrelgrootte en toename in de hoeveelheid organisch materiaal (zie Figuur 24 links en Figuur 25). Dit is met name goed zichtbaar in het profiel van de oostelijke rug, waar zowel de bedding- als de oeverafzettingen zijn bemonsterd. Bij het buiten de oevers treden van nabijgelegen rivieren werd fijnkorrelig en slibrijk materiaal afgezet, waardoor de oeverwallen hoger opslibden. Ook is het goed denkbaar dat de aanwezigheid van vegetatie op de hogere oevervallen van de kronkelwaardrug heeft bijgedragen aan de toegenomen hoeveelheid organisch materiaal in de top.

De OSL-dateringen uit de top van de beide zandruggen laten een consistent beeld zien van een relatief jonge kronkelwaard, die relatief kort voor de vorming van het veen in het geulensysteem is gevormd (als het geulensysteem nog actief is). Het resultaat voor de oostelijke zandrug (B.1011B) is ca. 6.0 ± 0.2 duizend jaar geleden. Het resultaat voor de westelijke zandrug (B.1003B) is iets jonger; ca. 4.8 ± 0.3 duizend jaar.⁴⁵

⁴⁵ WALLINGA et al. 2025.



Figuur 24: Willebroek-Meijerbroek, resultaten van het textuuronderzoek (linker staafdiagram) en gloeiverlies (rechter staafdiagram) van de westelijke (B.1005, links) en oostelijke rug (B.1018, rechts) (© BIAx).



Figuur 25: Willebroek-Meijerbroek, gemiddelde (ononderbroken lijn) en mediaan (stippellijn) van de korrelgrootten in de top van de westelijke (B.1005, zwart) en oostelijke rug (B.1018, blauw) (© BIAx).

2.4.3 Veenvorming in de noordelijke geul en daarbuiten

Naast (en ná) de opvulling van de geul tussen de twee ruggen, vindt er uiteindelijk ook veenvorming plaats buiten de geulen. Dit is zeker geen lokaal fenomeen, maar is zichtbaar op meerdere plekken in het Beneden-Scheldebekken.⁴⁶ Door de hoge grondwatertafels vond er een uitbreiding van riviervlakten plaats. Dit resulteerde uiteindelijk in grootschalige veenvorming in het bekken, een proces dat begon op de laagste delen en op sommige plekken in het Beneden-Scheldebekken tot ca. 1620 jaar geleden plaatsvond. Uiteindelijk leidde het ook tot de verdrinking van de top van de hoogste (westelijke) rug. Het landschap was in de periode 2468-2209 v.Chr. dusdanig nat dat op de top van de westelijke rug de eerste veenvorming plaatsvond. Niet lang daarna vindt er sedimentatie/veenvorming plaats in de geul ten noorden van de kronkelwaardrug. Het betreft geen nieuwgevormde geul, maar een geul die vermoedelijk een reactivatiefase kende. Bij de reactivatie kunnen oude, reeds aanwezige sedimenten, zijn opgeruimd. In eerste instantie lijkt er sprake van een hoogdynamische fase, waarbij een dik organisch pakket van ca. een halve meter is afgezet, bestaande uit takjes in allerlei oriëntaties (mogelijke *channel-lag* afzettingen, zie Figuur 26). Er lijkt sprake van een verspoeld pakket dat tijdens de eerste heractivatie van de geul hier is afgezet.

⁴⁶ MEYLEMANS et al. 2013.



Figuur 26: Willebroek-Meijerbroek, foto-opname van het organische pakket met veel twijgmateriaal op een diepte van ca. 37-79 cm in buis 5 van boring B.1008 (© BIAx).

Na deze depositie is er sprake van een relatief rustig sedimentatiemilieu. Rond de overgang van het finaal-neolithicum naar de vroege bronstijd (vermoedelijk 2144-1950 v.Chr.) accumuleerde de eerste humeuze klei in het diepste deel van de geul binnen het plangebied.⁴⁷ Dit zijn de vroegste (bewaarde) geulvullingen in B.1008. In tegenstelling tot B.1016, ontbreken in B.1008 geen geulsedimenten aan de basis, aangezien er onder deze organogene lagen wel degelijk zandige sedimenten in de onderste boorkern zijn gevangen. Dit geeft aan dat opvulling van de geul vanaf de overgang van het derde naar het tweede millennium v.Chr. plaatsvond. Dit zegt evenwel niets over het moment van het ontstaan van de geul en de periode waarin deze watervoerend was. Het geeft wel een beeld van wanneer er sprake was van een restgeulsituatie waarin zich veen kon vormen. Het is dan ook zeer waarschijnlijk dat de geul al actief was vóór de overgang van het neolithicum naar de bronstijd. Wat wel vaststaat is dat de noordelijke geul in de eerste helft van de midden-bronstijd (waarschijnlijk tussen 1700 en 1518 v.Chr.) geheel was opgevuld en dat dit de laatste (re)activatiefase betrof.

⁴⁷ Een dateringsinterval tussen 2193-2178 v.Chr. (2,6%) kan niet geheel worden uitgesloten.

2.5 Biotische landschap: resultaten en interpretatie paleo-ecologisch onderzoek⁴⁸

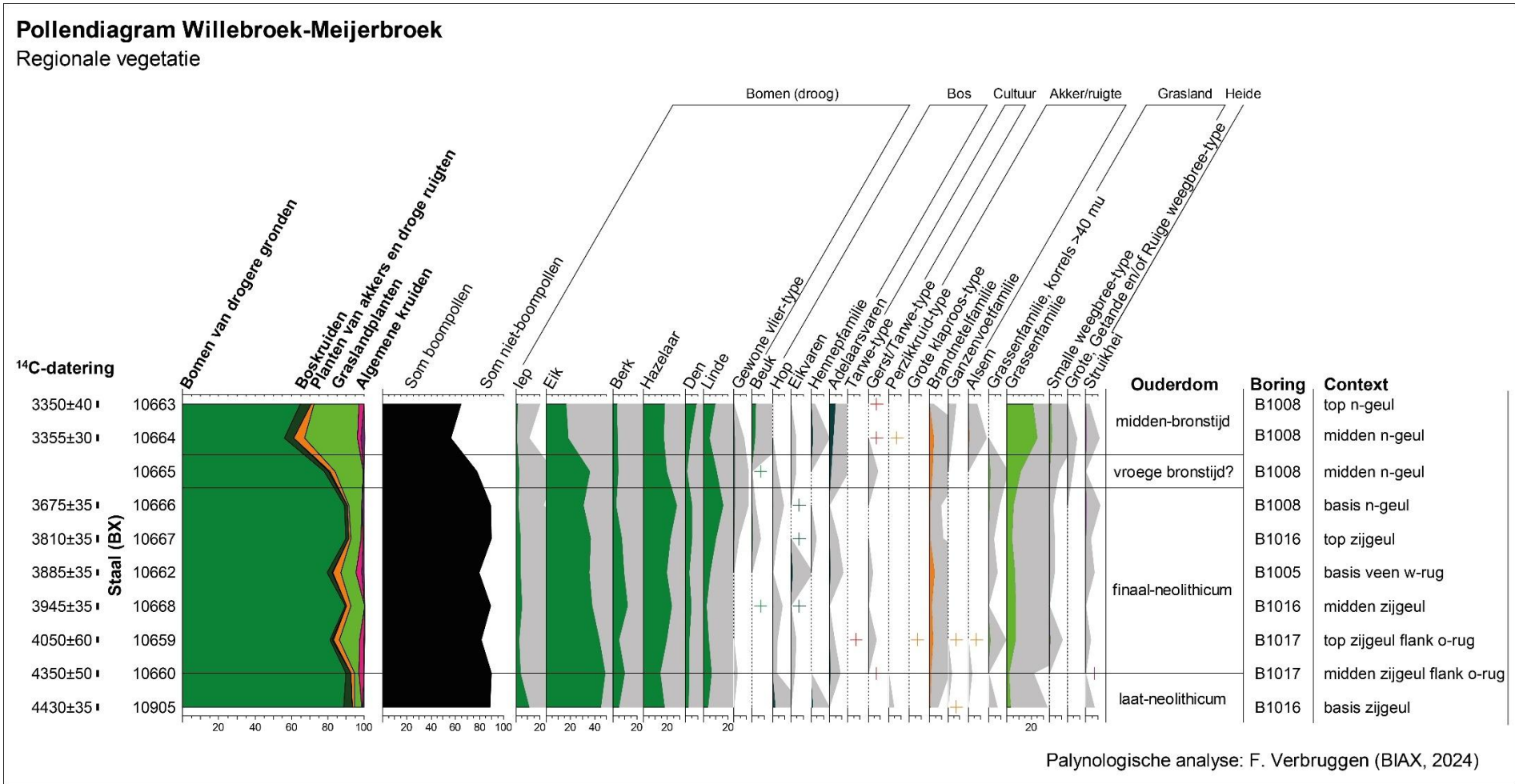
2.5.1 Inleiding

Voor de reconstructie doorheen de tijd van de vegetatie en veranderingen erin, zullen de onderzochte geul- en veenlagen in chronologische volgorde, van oud naar jong worden besproken. De resultaten van het palynologisch onderzoek⁴⁹ zijn samengevat in een pollendiagram voor de regionale vegetatie (zie Figuur 27) en één voor de lokale vegetatie (zie Figuur 28). De resultaten van het macrorestenonderzoek zijn weergegeven in VERBRUGGEN 2025 (bijlage 16).

Het pollendiagram bestaat uit lijndiagrammen, terwijl de stalen niet alle afkomstig zijn uit één profiel. Aangezien er sprake is van vergelijkbare, goed gedateerde contexten (organogeen materiaal, grotendeels uit geulen) in één onderzoeksgebied, is ervoor gekozen om de stalen als 'gelijkaardige' te beschouwen. Echter, het is niet uitgesloten dat sommige veranderingen in het voorkomen van taxa te herleiden zijn op verschillen in type context of precieze locatie ten opzichte van een geul. Waar dit het geval kan zijn, wordt in de bijbehorende tekst besproken.

⁴⁸ VERBRUGGEN 2025, pp. 20-41.

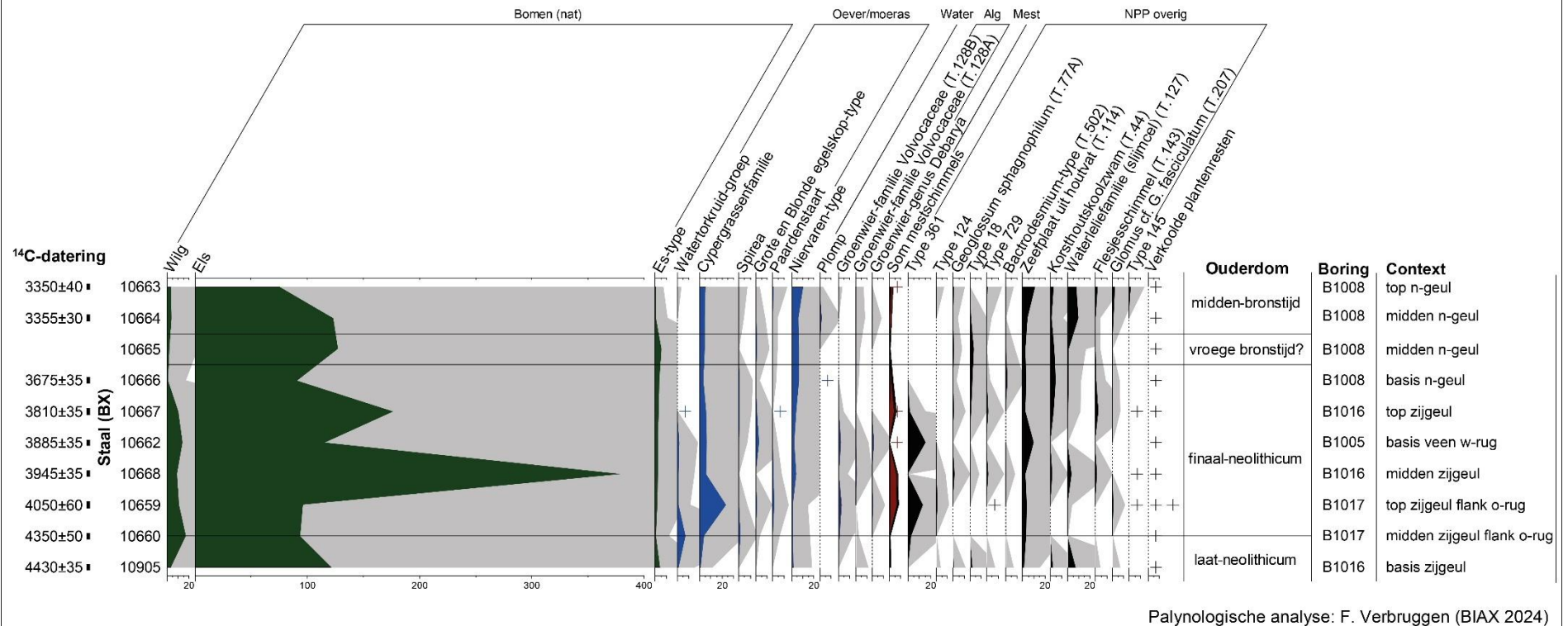
⁴⁹ VERBRUGGEN 2025, **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**



Figuur 27: Willebroek-Meijerbroek, pollendiagram van de regionale vegetatie (© BIAX).

Pollendiagram Willebroek-Meijerbroek

Lokale vegetatie



Figuur 28: Willebroek-Meijerbroek, pollendiagram van de lokale vegetatie en andere palynomorfen (© BIAX).

2.5.2 Laat-neolithicum

Regionale en lokale vegetatie

De oudste geanalyseerde lagen bevinden zich in de (bemonsterde) basis van de zijgeulvulling tussen de ruggen (laag 1 in B.1016) en het venige materiaal op de grens tussen de zijgeul en de flank van de oostelijke rug (laag 5 in B.1017). De laatstgenoemde dateert op de grens tussen het laat- en finaal-neolithicum. Het percentage boompollen is hoog in beide lagen. Waar 90% van het pollen en de sporen van de regionale vegetatie is geproduceerd door bomen, is de overige 10% afkomstig van kruiden. Van deze kruiden zijn boskruiden opvallend aanwezig, wat het omvangrijke bosareaal in de nabije omgeving van de ruggen in het laat-neolithicum bevestigt. Opvallend is het grote aandeel pollen van hop in de basis van de zijgeulvulling.⁵⁰ Van de bomen van droge gronden, die de regionale vegetatie domineren, zijn met name eik (46-29%), hazelaar (15-18%), iep (4-12%), berk (6-10%) en linde (4-7%) talrijk. Lokaal kwamen ook els (94-122%), wilg (4-17%) en es (1-4%) voor.⁵¹ Dit spectrum doet vermoeden dat er verschillende bostypen tot ontwikkeling zijn gekomen in de omgeving. Het kan uitdagend zijn om deze typen van elkaar te onderscheiden, omdat veel van de boomsoorten in diverse bossen voorkomen. Toch zal hier getracht worden om dit zo nauwkeurig mogelijk te duiden voor deze specifieke omgeving. Er is hier namelijk sprake van een gebied waar rivieren en geulen nabij zijn, waar alluviale bossen, zoals ooibossen en broekbossen, kenmerkend zullen zijn geweest voor de vegetatie. Ooibossen worden gedefinieerd als bossen die binnen de invloed van rivieroverstromingen tot ontwikkeling komen.⁵² Afhankelijk van de dynamiek van milieufactoren, zoals overstromingsduur en -frequentie, waterstanden en -kwaliteit, nutriëntenaanbod, relatieve hoogteligging, bodemgesteldheid, type ondergrond, en ligging ten opzichte van beken of rivieren, ontwikkelden zich in dit gebied namelijk bepaalde typen alluviaal bos, zoals hardhoutooibossen, zachthoutooibossen en (elzen)broekbossen.⁵³ Hierbij moet opgemerkt worden dat het onderscheid tussen sommige hardhoutooibossen en andere bossen van relatief voedselrijke standplaatsen in floristisch opzicht niet altijd scherp is.⁵⁴ Het is dan bijvoorbeeld ook goed mogelijk dat een deel van de bomen die in het verleden onderdeel waren van hardhoutooibossen, (ook) voorkwamen op andere hooggelegen plekken, die wat verder buiten de invloedssfeer van rivieren lagen, zoals bijvoorbeeld donken en de Pleistocene gronden ten noorden van de Rupel.

Hardhoutooibossen en andere bossen op relatief droge bodems

Op zandige bodems die slechts zeer incidenteel overstromen (hooguit enkele dagen per jaar tot eens in de 15-20 jaar), zoals hoger gelegen ruggen en wallen, kon een hardhoutooibos-type voorkomen, dat valt onder het abelen-iepen(ooi)bos (*Viola odoratae-Ulmetum*). Op zavelige tot kleiige standplaatsen die incidenteel tot regelmatig overstroomd werden en als gevolg daarvan vochtiger waren, konden zich hardhoutooibossen ontwikkelen die tot het essen-iepenbos (*Fraxino-Ulmetum*) worden gerekend.⁵⁵ Overstromingen worden door deze vegetatie verdragen, zolang ze niet lang duren en zolang het water niet stagneert.⁵⁶ Het essen-iepenooibos bevindt zich dan ook iets lager in het landschap dan het abelen-iepenbos. De boomlaag van hardhoutooibos bestaat vaak uit gewone es, gladde iep en zomereik (zie Figuur

⁵⁰ Het pollenpercentage bedraagt 2,6% en moet aangevuld worden tot 4,1% aangezien het pollen van de hennepfamilie in deze periode enkel geproduceerd kan zijn door hop. Hennep, de andere pollenproducent van dit pollentype is in de Romeinse tijd geïntroduceerd.

⁵¹ De lokale, 'natte' vegetatie is niet opgenomen in de pollensom, die bestaat uit planten van droge bodems. Het voorkomen van pollen en sporen van deze planten is wel gerelateerd aan de pollensom, waardoor het aandeel meer dan 100% kan zijn.

⁵² PETERS et al. 2021.

⁵³ WOLF et al. 2001, p. 56.

⁵⁴ WOLF et al. 2001, p. 72.

⁵⁵ VAN DER WERF 1991, p. 176.

⁵⁶ VAN DER WERF 1991, p. 178.

29).⁵⁷ Ook andere boomsoorten, zoals hazelaar en els kunnen hierin voorkomen.⁵⁸ Deze bomen zijn alle veelvoorkomend in de laat-neolithische pollenspectra van Willebroek, wat het aannemelijk maakt dat er sprake is van hardhoutooibossen in de omgeving, op de hoge delen van de ruggen en wallen nabij rivieren zoals de Rupel ten noorden en de Zenne en Dijle ten oosten.⁵⁹ Het is ook goed mogelijk dat een deel van het pollen van deze bomen van droge bodems afkomstig is uit Atlantische gemengde eikenbossen op de hogere zandgronden, bijvoorbeeld te Heindonk, net ten zuiden van het onderzoeksgebied, of in het Pleistocene gebied ten noorden.



Figuur 29: Recent hardhoutooibos met zomereik, iep en es in de Ooijpolder aan de Waal (NL). Er is een duidelijke boomlaag, struiklaag en kruidlaag zichtbaar (© BIAx).

Zachthoutooibossen

Op frequent langdurig overstroomde plekken kan een zachthoutooibos (*Salicetea purpureae*, of wilgenvloedbos) tot ontwikkeling komen.⁶⁰ Zo'n bos bestaat voornamelijk uit smalbladige wilgensoorten zoals schietwilg, kraakwilg en bittere wilg (zie Figuur 30). Deze soorten hebben een groot regeneratievermogen. Hoewel het pollenpercentage van wilg met 4-17% vele malen lager is dan dat van els, wil dat niet zeggen dat wilg minder voorkomend of verder weg stond. De grote verschillen in percentage zijn voornamelijk te herleiden op de pollenproductiviteit en de manier van pollenverspreiding van deze soorten. Zo is els een grote pollenproducent die zijn stuifmeel verspreidt via de wind en die bovendien massaal aanwezig kan zijn in broekbossen. Wilg daarentegen is een insectenbestuiver. Door deze zeer efficiënte manier van bestuiven hoeven entomofiele soorten maar relatief weinig pollen te produceren dat door de wijze van verspreiding bovendien niet zo vaak de grond bereikt zoals dat bij windbestuivende soorten het geval kan zijn. Om deze reden kan de vondst van meerdere stuifmeelkorrels al indicatief zijn voor lokale aanwezigheid. Percentages van 4-17% zijn dan ook relatief hoog voor wilg, wat zonder meer toont dat er lokaal sprake moet zijn geweest van lokale wilgen, zeker op de flank van de rug. Dit wordt bevestigd door de vondst van knoppen van wilg. Wilg zal onderdeel zijn geweest van zachthoutooibossen op de lagere delen van de ruggen en wallen in de omgeving, op plekken met frequente overstromingen.

In de ondergroei van zachthoutooibossen traden met name planten van moerassige ruigten op de voorgrond, zoals watertorkruid, munt en spirea die met name in het midden van het

⁵⁷ WOLF et al. 2001, p. 73.

⁵⁸ SCHAMINÉE et al. 1999, pp. 292-295.

⁵⁹ Het betreft de huidige positie van de rivieren. Hoe de loop van deze rivieren exact was ten tijde van de opvulling van de zijgeul tussen de ruggen, is niet bekend.

⁶⁰ WOLF et al. 2001, p. 71.

veen in B.1017 talrijk zijn. Op zandige plekken in zachthoutooibossen die meer dynamiek kennen, kwamen (vaak eenjarige) pionierplanten zoals waterpeper voor. Het pollen van het perzikkruid-type kan afkomstig zijn van deze pionier.



Figuur 30: Zachthoutooibos (lissen-ooibos) met wilg in de boomlaag in de Bemmelse Waard (NL) (© Cultureel Gelderland).

Elzenbroekbossen

Op plekken met langdurig stagnerend oppervlaktewater kunnen elzenbroekbossen een dominant vegetatietype zijn. De hoge percentages pollen van els (94-122%) getuigen van de aanwezigheid van zulke elzenbroekbossen nabij, op de lageregelegen delen van het landschap in het laat-neolithicum. De lokale aanwezigheid van zwarte els kon worden aangetoond middels de vondst van diverse zaden, katjes en knopfragmenten. Varens zoals moerasvaren en kamvaren (die sporen van het niervaren-type produceren) kunnen talrijk zijn in de ondergroei van elzenbroekbossen.

Iepenval?

Eén boomsoort verdient extra aandacht in het licht van de ouderdom, namelijk iep. Opvallend genoeg is het pollenpercentage van iep met 12% het hoogst in het oudste monster. Daarna zakken de percentages terug naar 2-5% in het finaal-neolithicum en 1-2% in de midden-bronstijd. Hoewel het maar om één monster met zulke hoge pollenpercentages gaat, kan de afname in het pollenpercentage van iep wijzen op een sterke terugval in iepen in het bomenbestand in de omgeving.⁶¹ Zo'n afname in iep is geen lokaal fenomeen, maar wordt op veel plekken in Noordwest-Europa waargenomen gedurende het neolithicum. Een eenduidige verklaring voor deze 'iepenval' is tot op heden niet gegeven. Zo wordt voorgesteld dat een veranderend klimaat en daarmee samenhangende veranderende bodemomstandigheden hebben geleid tot een afname in iep. Een andere verklaring wordt gezocht in de invloed van de mens, die iepentakken voor veevoer zou hebben verzameld. Een derde mogelijkheid is dat iepen in Noordwest-Europa te kampen kregen met een ziekte, die vergelijkbaar zou zijn met de zogenaamde *Dutch elm disease*.⁶² Ook antropogene activiteit is genoemd als bijdrager van de iepenval in het noordwestelijk deel van het Verenigd Koninkrijk.⁶³ Menselijk handelen lijkt in elk geval in Ierland geen aantoonbaar effect te hebben gehad op de iepenval.⁶⁴ Tot op heden worden met name de tweede en derde verklaring, of een combinatie van beide, als mogelijke

⁶¹ Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het hoge pollenpercentage van iep niet het gevolg is van zeer lokaal voorkomen aan de zijgeul zelf in de periode 3330-2922 v.Chr. Er zijn geen macroresten van iep gevonden die zeer lokale aanwezigheid zouden kunnen ondersteunen.

⁶² Zie PERRY & MOORE 1987, p. 72; STURLUDOTTIR & TURNER 1985, p. 323.

⁶³ GROSVENOR et al. 2017.

⁶⁴ KEARNEY & GEAREY 2020, p. 16.

veroorzaker van de *elm decline* gegeven. Ook de vernatting als gevolg van een relatieve zeespiegelstijging, die uiteindelijk resulteert in het verdrinken van dit landschap, kan een rol hebben gespeeld.⁶⁵ Echter, ook na een sterke vernatting van dit gebied blijft iep lang een belangrijk onderdeel van de vegetatie, waardoor dit niet de (enige) verklaring kan zijn voor een abrupte terugval in iep.

Ook op andere plekken in de Vlaamse zandstreek is een afname in het aandeel iep waargenomen, waaronder in Dendermonde, Moerzeke en Uitbergen-Heisbroek ten westen van de onderzoekslocatie.⁶⁶ Ook in het Scheldebekken is deze trend zichtbaar. De terugval van iep (en linde) is daar gedateerd tussen ca. 4300 en 3900 jaar geleden.⁶⁷ Hier in Willebroek lijkt de terugval van pollen van iep iets eerder plaats te vinden, zo rond de overgang van het laat-naar het finaal-neolithicum.

Open delen van het landschap

Hoewel het landschap zeer bomenrijk was, waren er ook open plekken te vinden. Daar kwamen allerlei kruidachtige planten voor, zoals grassen. Naast grassen zijn er geen typische graslandplanten vertegenwoordigd in de onderzochte lagen. Toch wil dat niet per se zeggen dat er geen graslanden in de omgeving te vinden waren. Het signaal is alleen sterk verzwakt door de sterke vertegenwoordiging van boompollen. Daarnaast is het goed denkbaar dat het pollen van grassen deels afkomstig is van oever-/moerasvegetatie langs de restgeul en in het veenmoeras.

In en aan de zijgeul

Noemenswaardig is de vondst van enkele mestschimmels in de laat-neolithische lagen. Zo zijn er ascosporen van het wratsporig punthoofdje, het piekhaartonneetje-type en het mestvaasje-type aangetroffen, die erop zouden kunnen wijzen dat dieren de wetlands bezochten. In de zijgeul stond (stilstaand tot zwakstromend) water, zo blijkt uit de aanwezigheid van vele slijmcellen van de waterleliefamilie, uit het pollen van kransvederkruid en resten van algen van de Volvocaceae familie. Dansmuggen (Chironomidae) zetten hun eieren af aan het wateroppervlak. Hun larven leven onder water. De aangetroffen kopkapsels van deze larven bevatten chitine en blijven goed herkenbaar bewaard. Daarnaast laat de vondst van vischubben zien dat er ook vissen in de zijgeul zwommen in het laat-neolithicum. De aquatische fauna bestond verder uit mosselkreeftjes (Ostracoda), mijten en insecten.

Menselijke invloed

In het midden van de venige laag tussen de zijgeul en de flank van de oostelijke rug is een stuifmeelkorrel van het gerst/tarwe-type aangetroffen. Het betreft slechts een sporadische vondst, die buiten de telling is gedaan. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat er in de directe nabijheid van de zijgeul is geakkerd. Wel is het mogelijk dat men akkerbouw pleegde op bijvoorbeeld de kronkelwaardrug en nabijgelegen donken, waarna er pollen in de zijgeul terecht is gekomen. Echter, het bewijs voor graanteelt is summier.

Zowel in de basis van de zijgeul en in de venige lagen die zich tussen de zijgeul en de flank van de oostelijke rug hebben gevormd zijn diverse indicatoren voor zeer voedselrijke omstandigheden aanwezig. Deze kunnen wijzen op antropogene activiteiten. Een voorbeeld hiervan is brandnetel, die talrijk aanwezig was nabij de zijgeul. Grote brandnetel verschijnt op plekken die lokaal sterk zijn verrijkt in voedingsstoffen (met name stikstof), maar waar de mate van verstoring beperkt is. Op nederzettingen komt brandnetel voor op plekken waar zich organisch materiaal ophoopt, zoals bij een verlaten gebouw, of op plaatsen waar afval gedumpt werd of waar er sprake is van opslag. Echter, er zijn geen concrete aanwijzingen voor de aanwezigheid van een nederzetting en bovendien kan grote brandnetel ook voorkomen op

⁶⁵ Zie MEYLEMANS et al. 2013.

⁶⁶ VERBRUGGEN et al. 1996, pp. 563-566.

⁶⁷ STORME et al. 2017, p. 304.

plekken die niet op antropogene, maar natuurlijke wijze (bijvoorbeeld door aanspoeling) verrijkt zijn in voedingsstoffen (denk aan overstromingen). Grote brandnetel komt voor in hardhoutooibossen, maar kan zeer dominant zijn in de ondergroei van zachthoutooibossen.⁶⁸ Echter, bij langdurige hoge waterstanden tijdens het groeiseizoen zal grote brandnetel afsterven. Moerassen komen er dan voor in de plaats. Het is dan ook aannemelijk dat er veel brandnetels te vinden waren in de alluviale wilgenbossen, bijvoorbeeld op plekken waar aanspoelsel achterbleef.

Pollen van het perzikkruid-type, de ganzenvoetfamilie en alsem/bijvoet zouden eveneens in verband gebracht kunnen worden met menselijke activiteiten in de omgeving. Echter, net zoals bij brandnetel, komen ze niet uitsluitend voor in antropogene vegetaties, maar ook op andere plekken waar aanrijking in stikstof heeft plaatsgevonden. Bovendien zijn ze hier in lage concentraties aanwezig.

Bij het macrorestenonderzoek van de top van het zand van beide ruggen zijn geen verkoold graankorrels aangetroffen of andere resten die zouden kunnen duiden op consumptie (zoals verkoold parenchym). Ook zijn er geen houtskoolconcentraties gevonden, (verbrand) botmateriaal of aardewerkfragmenten. De aangetroffen zaden van grote/bleke klaproos, een akkerplant, bleken door de aanwezigheid van kiemwit (endosperm) van (sub)recente aard en zijn hier dus niet indicatief voor akkerbouw in het neolithicum. In de zandruggen zijn ook diverse (sub)recente resten van paardenstaart, die notoir diep wortelt, aangetroffen. In de zandige top van de ruggen (B.1002, B.1005, B.1008, B.1012 en B.1014) zijn vele wortelfragmenten aangetroffen. Het zijn daar vaak de enige resten die in het zand 'bewaard' zijn gebleven.

2.5.3 Finaal-neolithicum

Regionale en lokale vegetatie

Hardhoutooibossen en andere bossen op relatief droge bodems

In de bossen in de omgeving vonden geleidelijk enkele veranderingen plaats in het finaal-neolithicum. Er lijkt sprake van een enige opening van de bossen op de droge gronden. Dit uit zich enerzijds in een geleidelijke afname van het percentage van eik (van 45% naar 31%) en van berk (van 13% naar 3%). Het aandeel pollen van hazelaar neemt daarentegen toe gedurende het finaal-neolithicum (van 20% naar 28%). Hazelaar is een lichtminnende boom die vaak aan bosranden en op open plekken in bossen voorkomt. Het is een plant die in de prehistorie van grote waarde was, aangezien het smakelijke noten levert. De doppen van deze noten worden vaak in prehistorische contexten aangetroffen, waaronder in het nabijgelegen Heindonk-Tien Vierendelen.⁶⁹ Het feit dat het pollenpercentage van hazelaar in Willebroek toeneemt, impliceert dat er meer licht doordrong in de bossen. Klimplanten zoals klimop en hop zijn minder talrijk in het finaal-neolithicum, wat aansluit bij een afgenomen bomenareal.

Het valt op dat op twee niveaus de opening van de bossen op droge gronden meer geprononceerd lijkt te zijn, namelijk in de top van de organogene vulling tussen de zijgeul en de oostelijke rug (B1017) en in de basis van het veen op de westelijke rug (B1005). Hier is het percentage boompollen van droge gronden lager dan in de zijgeul. Het is niet zeker of deze verschillen zijn te herleiden op variaties in de tijd of in de ruimte (of beide).

Opvallend genoeg zijn er pieken in schimmelresten van het type HdV-361 (14 en 16% t.o.v. de pollensom) zichtbaar in de niveaus met de lagere boompollenpercentages. Bij het paleoecologisch onderzoek van de veensequentie van De Borchert (in het oostelijk dekzandgebied in Nederland), lijkt dit schimmeltype met name toe te nemen in meer zandige

⁶⁸ WOLF et al. 2001, pp. 71-72; bijlage 1B.

⁶⁹ VERBRUGGEN & KUBIAK-MARTENS 2022.

lagen die zijn afgezet in perioden met toegenomen erosie als gevolg van menselijk handelen.⁷⁰ Hoewel er sprake is van een ander type milieu, is het wel mogelijk dat het proces dat heeft geresulteerd in de toename van HdV-361 in beide situaties, vergelijkbaar is. Het is denkbaar dat de afname van bossen op de droge gronden heeft geleid tot meer erosie.

Ten slotte valt op dat de twee jongste niveaus (de top van de zijgeulvulling in B1016; 2450-2138 v.Chr. en de basis van de noordelijke hoofdgeul in B1008 (2193-1950 v.Chr.) opvallend rijk zijn in pollen van linde (10-16%). Linde is een boom van tamelijk voedselrijke, vochtige gronden. Vandaag de dag maakt linde nauwelijks nog deel uit van de natuurlijke bosvegetatie. Echter, vroeger zal linde naar verwachting onderdeel zijn geweest van het hardhoutooibos, meer specifiek het essen-iepenbos.⁷¹ Dergelijke hoge percentages, zoals hier in de top van de vulling van de zijgeul en de basis van de vulling van de noordelijke hoofdgeul, tonen aan dat linde onderdeel zal hebben uitgemaakt van de hardhoutooibossen op nabijgelegen hogere gronden. Echter, beide ruggen binnen het onderzoeksgebied zijn op dat moment al met veen overgroeid en waarschijnlijk te nat voor dit bostype. Klaarblijkelijk waren er buiten het onderzoeksgebied, maar wel de nabije omgeving andere hoge, droge plekken die slechts zo nu en dan overstroomden.

Zachthoutooibossen

Wilg is duidelijk vertegenwoordigd gedurende het finaal-neolithicum en zal een dominante boomsoort zijn geweest in zachthoutooibossen op plekken die frequent werden overstroomd. Pollenpercentages van rond de 10% ten opzichte van de pollensom in vrijwel alle niveaus uit het finaal-neolithicum duiden zonder meer op lokale wilgenbossen in de omgeving van de zijgeul. In het jongste staal uit deze periode, uit de basis van de geul ten noorden van de ruggen, is het aandeel pollen van wilg lager (2%). Dit kan het gevolg zijn van een verandering doorheen de tijd (verticaal), maar ook hier kan ruimte (horizontaal) (ook) een rol hebben gespeeld. Ten tijde van de opvulling was de noordelijke geul namelijk nog wel waterhoudend, maar niet meer actief stromend. Er lijkt sprake van een relatief rustig restgeulmilieu waar organisch materiaal zich ophoopt. Van een zeer dynamisch milieu met frequent wisselende waterstanden, waar wilg (in tegenstelling tot veel andere boomsoorten) zo goed tegen kan, is hier vanaf de periode van veenvorming in de noordelijke geul, geen (of in elk geval in mindere mate) sprake meer.

Elzenbroekbossen

In het niveau van het midden van de zijgeulvulling, dat zich qua tijd lijkt te plaatsen tussen de lagen met lagere pollenpercentages van bomen van droge gronden, is er sprake van een sterke toename in het aandeel pollen van els, dat hier een pollenpercentage bereikt van 382% ten opzichte van de pollensom. Of hier sprake is van lokale verschillen in de ruimte, en/of landschappelijke variatie doorheen de tijd, is wederom niet met zekerheid te zeggen. Uit de macrorestenspectra van de zijgeul blijkt dat zwarte els zowel tijdens het laat- alsook tijdens het finaal-neolithicum veelvoorkomend moet zijn geweest in de laagte tussen beide ruggen in. Het is goed mogelijk dat er ten tijde van de vorming van het onderzochte niveau uit het midden van de zijgeulvulling sprake was van overstromingen waarbij water stagneerde (zie Figuur 31). Op zulke plekken kon els zich uitbreiden. De nattere omstandigheden lijkt tevens weerspiegeld in de piek in slijmcellen van de waterleliefamilie. Waterlelie of plomp heeft zich waarschijnlijk kunnen uitbreiden als gevolg van nattere omstandigheden. Ook van flesjesschimmel zijn diverse ascosporen aanwezig in het midden van de zijgeulvulling. Deze schimmel komt voor in elzenbroekbos.⁷² Dit sluit goed aan bij het beeld op basis het pollen en de macroresten.

⁷⁰ VAN GEEL et al. 1980, p. 438.

⁷¹ VAN DER WERF 1991, p. 180; WEEDA et al. 1987, p. 181.

⁷² HAWKSWORTH et al. 2016, p. 94.



Figuur 31: Elzenbroekbossen kunnen zich ontwikkelen in natte omstandigheden, bijvoorbeeld waar water stagneert na een overstroming (© Jerzy Strzelecki, CC BY-SA 3.0)

Beuk: een nieuwkomer

In het finaal-neolithicum verschijnt een nieuwe boomsoort, namelijk beuk. Beuk is één van de laatste boomsoorten die onze contreien bereikten na de laatste ijstijd.⁷³ Beuk breidt zich in de bronstijd uit in België en Nederland.⁷⁴ Voor Vlaanderen wordt geschat dat beuk zich ca. 4500 jaar geleden vestigde.⁷⁵ Dat beuk ook kort na het eerste verschijnen al in Willebroek te vinden was, bewijst de vondst van een stuifmeelkorrel van beuk in het midden van de zijgeulvulling (2570-2303 v.Chr.). Ook in de top van deze vulling en in de basis van de vulling van de jongere, noordelijke geul is beuk vertegenwoordigd als pollen. Beuk is slecht bestand tegen inundatie. Deze nieuwe boomsoort was naar verwachting te vinden op de hogere delen van het landschap, buiten bereik van het water.⁷⁶

Open delen van het landschap

Het aandeel pollen van grassen is groter in het finaal-neolithicum dan in het laat-neolithicum. Hoewel riet ook een gras is, wijst de vondst van zaad van scherpe of kruipende boterbloem op graslanden in de omgeving, en daarmee een geleidelijke opening van het landschap te suggereren. Scherpe/kruipende boterbloem komt met name voor in graslanden met wisselende waterstanden.

In en aan de geulen

Het is goed denkbaar een vernatting gedurende het finaal-neolithicum niet alleen tot de uitbreiding van els heeft geleid in de omgeving van de zijgeul in de periode 2570-2303 v.Chr., maar mogelijk ook tot het afsterven van bomen en andere planten die minder goed bestand zijn tegen inundaties. Het valt namelijk op dat diverse schimmelresten talrijk zijn in het midden van de zijgeulvulling. Veel van deze schimmels, zoals korsthoutskoolzwam voeden zich met rottend hout.⁷⁷ Ook de schimmels *Dictyosporium* en *Bactrodesmium*-type zijn saprotroof en

⁷³ Er is sprake van een 'klassieke' vegetatiesuccessie waarin koudetolerante soorten zoals berk en den eerst verschijnen, gevolgd door warmteminnende soorten zoals hazelaar, eik, els, linde, iep, en uiteindelijk ook beuk en later ook haagbeuk.

⁷⁴ Zie MAES et al. 2013, p. 164.

⁷⁵ VANDEKERKHOVE et al. 2018, p. 8.

⁷⁶ SCHAMINÉE et al. 1999, p. 304.

⁷⁷ VAN GEEL et al. 2013, pp. 33-34.

verschijnen op dood hout, zowel op het land alsook in een aquatische omgeving.⁷⁸ Hoewel niet bepaald kan worden op welke houtsoorten deze schimmels voorkwamen, is het mogelijk dat hun aanwezigheid in relatie staat tot het afsterven van een deel van de vegetatie in de omgeving van de zijgeul.

Deze schimmels zijn niet de enige waarvan resten aanwezig zijn in het finaal-neolithicum. Het valt op dat er gedurende deze periode sprake is van diverse niveaus die relatief talrijk zijn in ascosporen van mestschimmels. Als deze niveaus in de tijd worden geplaatst, dan volgen ze opvallend genoeg direct op de niveaus waarin een opening van de bossen op droge gronden duidelijk merkbaar is. Indien dit inderdaad een variatie doorheen de tijd weerspiegelt, dan is het goed denkbaar dat het verdwijnen van een deel van de bosvegetatie een verjonging van de vegetatie teweeg heeft gebracht. Zo'n verjonging zal aantrekkelijk zijn geweest voor dieren. Het is goed denkbaar dat dieren dronken uit de geulen. Of er sprake was van wild of van vee is op basis van deze mestschimmels niet te duiden.

Uit het macrorestenspectrum valt op te maken dat er in de omgeving van de zijgeul diverse oever- en moerasplanten te vinden waren, waaronder grote waterweegbree, water-/akkermunt en torkruid. Deze kruiden kunnen als oeverplanten aan de geul hebben gestaan, maar kunnen ook deel hebben uitgemaakt van de kruidlaag in de alluviale bossen zoals de zachthoutoibossen. De pionierplanten van drassige tot natte plaatsen, zoals waterpeper en zachte duizendknoop zullen op wat meer dynamische plekken met bijvoorbeeld meer fluctuaties in de waterstand en waar voedselrijk slib achterbleef, te vinden zijn geweest.

Verder leefden er larven van dansmuggen en schietmotten (kokerjuffers) en andere insecten in de zijgeul tot aan de flank met de oostelijke rug in het finaal-neolithicum. Daarnaast zijn resten gevonden van mijten, regenwormen en watervlooien.

Menselijke invloed

Antropogene invloed is zeker merkbaar in het finaal-neolithicum. Niet alleen direct – in de vorm van pollen van cultuurgewassen in de top van het veen op de overgang tussen de zijgeul en de oostelijke rug en de basis van het veen op de top van de westelijke rug – maar ook indirect. Hoewel niet zeker is of het verdwijnen van bomen in de omgeving een natuurlijke oorzaak heeft of het gevolg is van menselijk handelen, is het goed denkbaar dat de hoge percentages van de schimmel HdV-361 in het bovenste deel van het veen op de top van de oostelijke rug en in de basis van het veen boven de westelijke top het resultaat zijn van het kappen van bomen op de zandruggen, met erosie tot gevolg. Opvallend genoeg zijn in deze niveaus meerdere stuifmeelkorrels van granen aanwezig. Het betreft pollen van het gerst/tarwe-type en tarwe-type in de top van het veen op de flank van de oostelijke rug. Aangezien de hogere westelijke rug op dat moment nog niet is verdrongen, is het goed denkbaar dat men aldaar, of op andere hooggelegen locaties in het landschap die nog niet waren verdrongen, getracht heeft om een stuk van de beboste rug vrij te maken voor akkerbouw. Men verbouwde daarbij tarwe, en mogelijk ook gerst. Met name in de top van het veen boven de oostelijke rug zijn relatief veel van de bovengenoemde indicatoren voor verstoring en menselijke activiteiten aanwezig.

Ook in de basis van het veen op de top van de westelijke rug is pollen van het gerst/tarwe-type aangetroffen. Het is mogelijk dat er sprake is van inspoeling van materiaal uit de top van de zojuist verdrongen westelijke rug of dat er in de nabijheid nog geakkerd werd op een andere hoge, droge plek.

Pollen van brandnetel is ook juist in de niveaus met minder boompollen van droge gronden wat talrijker. Echter, brandnetel is niet uitsluitend een antropogene indicator, aangezien het

⁷⁸ REBLOVA et al. 2020, p. 146; YANG et al. 2018, p. 84; MARKOVSKAJA & TREIGNIENE 2007, p. 495 en de referenties hierin.

ook zeer talrijk kan zijn in de ondergroei van ooibossen. Wel valt op dat in de top van het veen op de overgang van de zijgeul naar de oostelijke rug pollen aanwezig is van planten die in antropogene vegetaties veel voorkomen, zoals dat van bijvoet/alsem, de ganzenvoetfamilie en het grote klapproos-type. Ook pollen van smalle weegbree-type, die eveneens gezien wordt als indicator voor menselijke activiteiten is hier met name talrijk.

In de top van de zijgeulvulling is bovendien een zaadje aanwezig van vogelmuur, een plant die veelvuldig (doch niet geheel uitsluitend) voorkomt in tuinen, op akkers en op andere sterk door de mens beïnvloede plekken die lokaal zeer voedselrijk zijn, zoals mesthopen. Het is daarmee goed denkbaar dat men het finaal-neolithische landschap alhier exploiteerde voor akkerbouw en wellicht ook veeteelt. Ook in laag 12 van B.1001, geïnterpreteerd als de top van de noordelijke flank van de westelijke rug op de overgang naar het geulensysteem, is een zaadje van vogelmuur aanwezig. Het macrorestenspectrum van deze laag is nagenoeg identiek aan het midden en de top van de zijgeulvulling in B.1016. Laag 12 uit B.1001 dateert naar verwachting nèt voor de verdrinking van de westelijke rug. Dit sluit goed aan bij de dateringen van het midden en de top van de zijgeul, die ongeveer gelijktijdig zijn met de verdrinking van de hoogste top. De vondst van (mogelijke) antropogene indicatoren zoals vogelmuur kan duiden op het gebruik van de westelijke rug tot net voor de verdrinking ervan.

In de top van de zeer organische vulling tussen de zijgeul en de flank van de oostelijke rug is bovendien een zaadje van hennepnetel gevonden. Ook hennepnetel komt voor op akkers, echter niet uitsluitend. Aangezien gewone hennepnetel ook verschijnt in de ondergroei van (hardhout)ooibossen, is er voorzichtigheid geboden om deze plant te bestempelen als antropogene indicator.⁷⁹

2.5.4 Vroege bronstijd?

Regionale en lokale vegetatie

Het midden van de vulling van de hoofdgeul ten noorden van de ruggen zijn twee stalen genomen. Waar het bovenste niveau meer klastisch en antropogeen aandeel, is het onderste niveau een zeer organische laag. Hoewel niet gedateerd door middel van een ¹⁴C-datering, kan op basis de boven- en onderliggende niveaus worden geconcludeerd dat het onderste niveau waarschijnlijk dateert in de vroege bronstijd.

Bossen

In het midden van de noordelijke geul is het percentage boompollen van droge gronden verder afgenomen, maar is met 78% nog altijd hoog te noemen. Het geeft aan dat het gebied nog behoorlijk sterk bebost is, hoewel het bosareaal verder afgenomen lijkt te zijn aan het begin van de bronstijd. Dit sluit aan bij de vondst van diverse sporen van adelaarsvaren. Adelaarsvaren is een plant van bosranden op zure zandgronden, die met name uitbreidt op plekken waar bos recentelijk is verdwenen. Op kap- en brandvlakten kan adelaarsvaren zich sterk vermenigvuldigen. Deze varen hanteert daarbij een slimme strategie door zich te vestigen op plekken met weinig humus en veel mineralen. Vervolgens laat adelaarsvaren in de herfst een massa van slecht verterend, voedselarm bladstrooisel achter dat bovendien giftig is, waardoor andere planten daar niet kunnen kiemen (zie Figuur 32).⁸⁰

⁷⁹ WOLF et al. 2001, p. 84.

⁸⁰ WEEDA et al. 1985, p. 31.



Figuur 32: Adelaarsvaren kan zich sterk uitbreiden op plekken waar bos is gekapt, zoals hier in de Ridderoordse bossen te Bilthoven. Door het giftige strooisel dat na de bloei achterblijft, kunnen andere boskruiden zich nauwelijks vestigen (© BIAX)

Het is goed denkbaar dat men in de vroege bronstijd een stuk bos heeft vrijgemaakt, bijvoorbeeld ten behoeve van bewoning, akkerbouw of veeteelt.

Bijzonder talrijk is het pollen van eik (31%), hazelaar (28%) en linde (11%). Die laatstgenoemde was al vanaf de laatste fase van het neolithicum talrijk aanwezig in de hardhoutooibossen en 'Atlantische' bossen op de hogere zandgronden in de omgeving. In de vroege bronstijd is dat niet anders. Andere bomen die voorkwamen op de droge tot vochtige plekken die slechts sporadisch werden blootgesteld aan overstromingen, zijn berk (5%), iep (3%), den (2%), gewone vlier (1%), beuk, sporehout en Gelderse roos (alle sporadisch aanwezig). De kronkelwaardrug en andere hoger gelegen ruggen in de omgeving zullen begroeid zijn geweest met hardhoutooibos met daarin iep en hazelaar. Ook in gemengde eikenbossen, die verwacht kunnen worden op het hogergelegen donk ten zuiden, konden deze soorten voorkomen. Daar zullen ook soorten zoals eik, linde en beuk hebben gestaan. Els (128%), es (6%), wilg (3%) en populier (0,4%) zullen op de lager gelegen, natte plekken te vinden zijn geweest.

Het aandeel pollen van wilg van 3% duidt nog altijd op lokaal voorkomen. Het percentage wilgenpollen is veel minder hoog dan gedurende het laat- en finaal-neolithicum. Het is ook hier echter de vraag of er sprake is van een verandering doorheen de tijd, en/of in de ruimte. Opvallend is dat in alle onderzochte niveaus van de noordelijke hoofdgeul het pollenpercentage van wilg lager is dan in dat van de zijgeul of in het veen dat zich op beide ruggen heeft gevormd. Het feit dat wilg een minder prominente plek inneemt in de hoofdgeulvulling, kan wijzen op een lager dynamisch milieu met minder schommelingen in de waterhuishouding ten tijde van de opvulling van de noordelijke (rest)geul.

Open delen van het landschap

Ten opzichte van het neolithicum is het aandeel pollen van kruidachtige planten verder toegenomen. Met name grassen zijn met 12% talrijker geworden. Nu is er in een gebied met rivieren voorzichtigheid geboden met het vertalen van toegenomen graspollenpercentages naar een uitbreiding van het areaal grasland. Zo kan een lokale uitbreiding van riet, de grootste grassoort in onze contreien, in de geul ook aan de orde zijn. Echter, in de hoofdgeulvulling is niet alleen het pollenpercentage van grassen, maar ook dat van diverse andere graslandplanten toegenomen, waaronder smalle weegbree, grote/getande/ruige

weegbree en planten die pollen van het scherpe boterbloem-type en het veldzuring-type produceren. Deze planten komen met name voor in graslanden die enig beheer of exploitatie kennen.

In en aan de noordelijke geul

Het onderste niveau van het midden van de hoofdgeulvulling bevat pollen van diverse oever- en moerasplanten, zoals cypergrassen, grote/blonde egelskop en kleine lisdodde en van het natte ruigtekruid bitterzoet, en zijn sporen van het niervaren-type en paardenstaart. Deze kunnen op diverse plekken in het landschap hebben gestaan, zoals op de oevers van de noordelijke geul zelf, op de moerassige plekken waar zich veen vormde (buiten de geulen), en in de ondergroei van de alluviale bossen.

Pollen van hogere waterplanten is niet aangetroffen, maar wel zijn slijmcellen van de waterleliefamilie aanwezig. Ook is een enkele rest van een zoetwateralg van de Volvocaceae familie aangetroffen.

Van dit niveau zijn geen macrorestengegevens voorhanden. Afgaande op de macrorestenresultaten van de onder- en bovenliggende lagen is het wel aannemelijk dat er ook gedurende de vroege bronstijd diverse organismen in het water van de geul te vinden waren.

Van de schimmel korsthoutskoolzwam zijn diverse ascosporen waargenomen (4% ten opzichte van de pollensom). Aangezien deze schimmel zich voornamelijk voedt met rottend hout, is het aannemelijk dat er hout verging in de omgeving.

Resten van mestschimmels, die indicatief zijn voor de aanwezigheid van dierlijke mest, zijn in zeer lage percentages aanwezig in de vroege bronstijd.

Menselijke invloed

Van het gerst/tarwe-type zijn enkele stuifmeelkorrels aangetroffen op het onderzochte niveau dat waarschijnlijk in de vroege bronstijd dateert. Hoewel het percentage laag is, wil dit niet zeggen dat akkerbouw nauwelijks een rol heeft gespeeld in de directe omgeving. Dit heeft te maken met het feit dat de meeste graangewassen die in het neolithicum en de bronstijd werden verbouwd, zelfbestuivend zijn. Hierbij blijft het pollen verpakt in het kaf, waardoor het over het algemeen slecht verspreidt. Pas bij het openbreken van het kaf, bij het dorsen, komt het pollen goed vrij. Waar er precies is geakkerd is niet precies te zeggen, maar hoger gelegen ruggen en donken, die dankzij overstromingen vruchtbaar zullen zijn, zouden hier in principe geschikt voor moeten zijn. Er is op dit niveau geen stuifmeel van andere antropogene indicatoren aangetroffen, behalve van brandnetel. Brandnetel komt echter ook voor in de ondergroei van de oobossen, waardoor de informatiewaarde in relatie tot menselijke activiteiten niet eenduidig is.

2.5.5 Midden-bronstijd

Regionale en lokale vegetatie

Bossen

Hoewel eik (18-19%), hazelaar (17-18%) en linde (5-10%) nog altijd het talrijkst zijn onder de bomen van droge bodems, zijn er wel degelijk veranderingen in de bossen op de hogere gronden merkbaar. Het boompollenpercentage is teruggelopen tot 56-65%, wat aangeeft dat er sprake is van een behoorlijke terugval in het bosareaal. Dit sluit goed aan bij de toename in het aandeel sporen van adelaarsvaren, een indicator voor het verdwijnen van 'oud bos'.

Naast bovengenoemde boomsoorten zijn ook iep en es sterk afgenomen, wat aangeeft dat de hardhoutoobossen behoorlijk gereduceerd zijn gedurende de opvulling van de hoofdgeul aan

de noordelijke zijde van het onderzoeksgebied. Beuk heeft zich gedurende de bronstijd uitgebreid in het landschap. Beuk is net zoals linde een boom die veel schaduw kan creëren. Hieruit kan geconcludeerd worden dat – hoewel het bosoppervlak is teruggedrongen ten opzichte van het neolithicum en de vroege bronstijd – de bossen her en der een tamelijk gesloten karakter hadden.

Els is nog altijd zeer talrijk aanwezig, wat erop duidt dat er ook in de midden-bronstijd nog altijd sprake was van elzenbroekbossen in de omgeving. Wilgenbossen daarentegen lijken minder prominent aanwezig dan in het neolithicum, een trend die al aan het einde van het finaal-neolithicum was ingezet. In de ondergroei van de bossen kwamen varens voor, waaronder eikvaren en varens die sporen produceren van het niervaren-type. Langs de boomstammen slingerden hop en klimop.

Open delen van het landschap

Het aandeel pollen van graslandplanten is met 25-29% sterk toegenomen in vergelijking met de oudere niveaus. Aangezien niet alleen grassen, maar ook andere graslandplanten in aandeel zijn toegenomen, is het aannemelijk dat het areaal, en daarmee het belang van graslanden lijkt te zijn toegenomen. Smalle weegbree, een antropogene indicator, was veelvoorkomend in de graslanden (zie Figuur 33). Ook andere graslandplanten zoals grote weegbree, en planten die pollen van het scherpe boterbloem-type, het veldzuring-type en het ganzerik-type produceren, kwamen hierin voor. Het gecombineerd voorkomen van deze soorten duidt op extensieve exploitatie van de graslanden. Het is heel aannemelijk dat er vee graasde in de graslanden. In de hoofdgeul zijn namelijk ascosporen van diverse mestschimmels aangetroffen, waaronder het mestvaasje-type, het piekhaartonnetje-type, het brokkelspoorzam-type en het mesthaarbolkje. Het is goed mogelijk dat (wilde en/of gedomesticeerde) dieren water uit de geul kwamen drinken.



Figuur 33: In de midden-bronstijd vormden graslanden met daarin weegbree, en in mindere mate ook veldzuring en boterbloem, een belangrijk onderdeel van de vegetatie (© BIAx)

In en aan de noordelijke geul

Aan de noordelijke geul groeiden op basis van de pollenspectra diverse oeverplanten, waaronder cypergrassen (zoals zeggen en biezen), dotterbloem, paardenstaart, spirea, vlotgras, watertorkruid, rus, bitterzoet, kleine en grote egelskop. Aan de hand van de macroresten kunnen hier nog grote waterweegbree en de natte pionierplanten bruin cypergras en waterpeper aan worden toegevoegd. Van brandnetel is een zaadje gevonden,

wat aangeeft dat ook deze plant te vinden was in de nabijheid van de geul, waarschijnlijk op een voedselrijke plek in de ondergroei van de bossen die de geul flankeerden.

In de geul zelf groeiden niet alleen zoetwatalgen, zoals *Botryococcus*, *Debarya*, *Mougeotia*, *Pediastrum* en algen van de Zygnemataceae en Volvocaceae familie, maar ook hogere waterplanten, waaronder ondergedoken moerasscherm, plomp, waterlelie en fonteinkruid. De vele vondsten van slijmcellen van de waterlelietfamilie sluiten uitstekend aan bij de vondst van pollen van plomp en waterlelie. Aan de hand van dit beeld kenmerkt de (rest)geul zich het beste als een waterlichaam met stilstaand water.

De geul kende een rijke fauna. Aan de hand van de macroresten kon bepaald worden dat er in de geul vissen zwommen en dat op de bodem van de geul dansmuglarven en kokerjuffers te vinden waren. Verder zijn resten gevonden van het kruipend geleimosdier (Bryozoa), van mosselkreeftjes, aquatische mijten, zoetwatersponzen en van de diepslak.

Menselijke invloed

In de bovenste twee onderzochte niveaus van de hoofdgeul is pollen van het gerst/tarwe-type aanwezig. Omdat dit pollen in zeer lage concentraties aanwezig is, is er wel bewijs voor akkerbouw, zij het beperkt. In deze lagen is het aandeel planten van sommige antropogene vegetaties wel relatief hoog. Zo is pollen van bijvoet/alsem (2%) en van brandnetel (4%!) talrijk aanwezig in het bovenste niveau van het midden van de geulvulling, dat antropogeen aandeel. Echter, zowel bijvoet/alsem als brandnetel kunnen deel hebben uitgemaakt van de natuurlijke vegetatie op plekken die lokaal sterk verrijkt zijn in stikstof. In dit geval vormen ze dan ook geen betrouwbaar bewijs voor menselijke activiteiten.⁸¹ Hetzelfde geldt voor het pollen van het perzikkruid-type, dat door diverse duizendknopen wordt geproduceerd die hun zwaartepunt hebben op zeer voedselrijke plekken die verstoring kennen, zoals akkers en tuinen. Ook waterpeper, die op drassige, zeer voedselrijke plekken verschijnt als pionierplant, kan verantwoordelijk zijn voor dit pollentype. Hoewel het goed mogelijk is dat dit pollentype door een plant van antropogene vegetaties is geproduceerd, is het niet uit te sluiten dat het afkomstig is uit een natuurlijke vegetatie. Ook het hawmos land-/watervorkje komt voor in zowel natuurlijke en antropogene (akker)vegetaties.

Opvallend is dat smalle weegbree met 4% overduidelijk vertegenwoordigd is. Smalle weegbree komt niet alleen voor in extensief geëxploiteerde graslanden, maar verschijnt bijvoorbeeld ook op braakliggende akkers die als weidegrond dienen.⁸² De plant wordt gezien als één van de belangrijkste antropogene indicatoren.⁸³ Het feit dat al deze (potentiële) antropogene indicatoren hier in relatief hoge percentages voorkomen, versterkt de gedachte dat er sprake is van een toegenomen menselijke invloed gedurende de midden-bronstijd.

De vondst van diverse ascosporen van mestschimmels duidt op de aanwezigheid van dierlijke mest in de geul. Of deze mest is geproduceerd door wild of vee, is niet met zekerheid te zeggen.⁸⁴ Mogelijk hield men vee, wat goed aansluit bij de toename in graslanden in de omgeving van de geul. Ten behoeve van veeteelt, akkerbouw en/of bewoning heeft men waarschijnlijk bos vrijgemaakt, blijkens de toename van 'kapindicator' adelaarsvaren en het afgenomen pollenpercentage van bomen van droge bodems. Het 'antropogene' niveau in de geulvulling bevat bovendien meer pollen van struikheide dan de overige niveaus. Struikheide is een plant van schrale, vaak uitgeputte zandbodems. Dergelijke schrale omstandigheden kunnen het gevolg zijn van (over)exploitatie van de zandgronden.

⁸¹ Ze sluiten het uiteraard evenwel niet uit.

⁸² WEEDA et al. 1988, p. 255.

⁸³ BEHRE 1981, p. 229.

⁸⁴ Wel staat vast dat sommige herbivoren, zoals runderen grote mestproducenten zijn.

2.5.6 Regionale vergelijking

Er zijn verschillende studies verricht naar het prehistorische landschap in de ruimere regio. Verbruggen *et al.* stelden een regionale biozonering op voor zandig Vlaanderen en Storme *et al.* een voor de Scheldevallei.⁸⁵ De regionale *pollen assemblage zone* (PAZ) SB5 van het Scheldebekken dateert van ca. 8600 tot 4000 jaar geleden (grootweg 6600-2000 v.Chr.) en kenmerkt zich door een toename in pollen van linde en een eerste toename in pollen van els aan de basis. Gedurende deze biozone is er sprake van gemengde eikenbossen met linde op de droge bodems en is er sprake van elzenbroekbossen in de natere delen van de valleien. Deze PAZ omvat de fase waarin de zijgeul tussen de ruggen zich opvult. Het paleoecologisch onderzoek van deze zijgeul komt goed overeen met de bevindingen in de ruimere regio in het Scheldebekken.

De daaropvolgende PAZ SB6 dateert vanaf 4000 v.Chr. tot in elk geval het einde van de bronstijd (en mogelijk nog daarna) (grootweg 2000 tot minimaal 1000 v.Chr.) en wordt gekenmerkt door veranderingen in de samenstelling van de bossen. Zo nemen linde, iep en in sommige gevallen eik af, en verschijnt beuk. Antropogene indicatoren, waaronder niet alleen granen, maar ook smalle weegbree, alssem/bijvoet en grassen worden geschaard, nemen toe in PAZ SB6. De vulling van de noordelijke geul dateert uit de periode van deze PAZ en ook hier is een vergelijkbaar beeld te zien waarin antropogene invloed steeds meer merkbaar wordt. Een verschil tussen het pollenspectrum van Willebroek ten opzichte van dat van de sites die zijn betrokken in het Schelde-overzicht, is dat beuk al heel vroeg verschijnt in Willebroek. Aangezien hier in Willebroek sprake is van kleihoudende organogene afzettingen, is het niet uitgesloten dat watertransport hier een rol heeft gespeeld. Vermeldenswaardig is de hoge dichtheid van ¹⁴C-dateringen te Willebroek, wat het mogelijk heeft gemaakt om het eerste voorkomen uiterst nauwkeurig te bepalen. Een ander verschil dat merkbaar is in deze PAZ is het feit dat linde duidelijk aanwezig is in Willebroek in de eerste helft van de bronstijd, terwijl linde minder voorkomend lijkt op de betrokken sites elders in het Scheldebekken. Dit kan een lokaal fenomeen zijn, maar kan ook het gevolg zijn van watertransport of het feit dat de geulvulling niet de gehele bronstijd omvat. Het aandeel linde in de vegetatie van Willebroek is immers niet bekend ná de opvulling van de noordelijke geul in de periode 1741-1518 v.Chr.

Ook zijn er grote overeenkomsten met het paleoecologisch onderzoek aan veen dat is aangetroffen in Beveren-LPWW.⁸⁶ Daar wordt het veen van de lokale PAZ (LPAZ) 1 (ca. 3300-2900 v.Chr.) gekenmerkt door hoge boompollenpercentages waarbij eik, hazelaar en linde zeer talrijk zijn en beuk ontbreekt. Voorzichtig kon hier geconcludeerd worden dat er sprake was van enige antropogene invloed op het landschap. Dit komt goed overeen met de bevindingen van de laat-neolithische niveaus in Willebroek. In LPAZ 2 in Beveren (ca. 3000-2800 v.Chr. tot ca. 2000-1600 v.Chr.), die qua datering overeenkomt met de niveaus vanaf het finaal-neolithicum te Willebroek, is merkbaar dat er sprake is van enige opening van de bossen. Er is in deze fase echter nog altijd sprake van uitgestrekte bossen in de omgeving van Beveren. Els is daarbij sterk toegenomen, iets dat in Willebroek slechts kortstondig merkbaar lijkt te zijn. Wat betreft de regionale vegetatie te Beveren valt op dat linde, iep en eik afnemen, terwijl hazelaar en berk min of meer gelijk blijven en den en es beide toenemen. Hoewel voor es minder geprononceerd, lijkt het algemene beeld hier overeen te komen met Willebroek, met linde als uitzondering. Linde neemt in Willebroek niet af, maar juist toe gedurende deze periode. Dit zal waarschijnlijk een lokaal fenomeen zijn. De uitbreiding van els en de afname van pollen van droge bodems in Beveren, wordt verklaard door de voortschrijdende vernatting van het gebied, waardoor er minder droge plekken zijn en els zich kon uitbreiden.⁸⁷ Ook in

⁸⁵ VERBRUGGEN *et al.* 1996; STORME *et al.* 2017.

⁸⁶ VERBRUGGEN & VAN DER MEER 2021.

⁸⁷ MEYLEMANS *et al.* 2013.

Beveren zijn antropogene indicatoren talrijker tijdens het finaal-neolithicum en de eerste helft van de bronstijd dan daarvoor.

Het algehele beeld, namelijk dat van een afgenomen bosareaal op de droge gronden en een toegenomen invloed van de mens op het landschap is niet alleen in Willebroek merkbaar, maar ook elders in het Scheldebekken.

3 Synthese onderzoeksresultaten

3.1 Datering en interpretatie van de vindplaats

3.1.1 Algemeen

Gezien de relatief diepe ligging van de vindplaats Willebroek-Meijerbroek, onder een pakket klei en veen, werd gehoopt dat de vragen omtrent landschap, landschapsevolutie en vegetatie evolutie, die tijdens het onderzoek in het nabijgelegen Heindonk-Tien Vierendelen onbeantwoord waren gebleven, hier een antwoord zouden krijgen. Heindonk-Tien Vierendelen is slechts afgedekt met een dun kleipakket, nauwelijks dikker dan de bouwvoor, waardoor de hoogste delen van de site zijn aangeploegd. Als gevolg hiervan ontbreekt voor deze vindplaats een duidelijk paleo-landschappelijk kader.

Echter, de OSL-dateringen uit de top van de kronkelwaardrug laten zien dat in Willebroek-Meijerbroek sprake is van een relatief jong kronkelwaardsysteem, dat relatief kort voor de start van de veengroei in het geulensysteem is gevormd, namelijk omstreeks ca. 6.0 ± 0.2 - ca. 4.8 ± 0.3 duizend jaar geleden.⁸⁸ De menselijke aanwezigheid in het plangebied speelt zich grotendeels af tijdens het laat-/finaal-neolithicum tot en met de vroeg-/midden-bronstijd. Op dat moment loopt de bewoning in Heindonk-Tien Vierendelen reeds op zijn einde.⁸⁹ Los daarvan vormen de resultaten een belangrijke aanvulling op het paleo-ecologisch onderzoek in het Mechelse rivierengebied⁹⁰ en op ons begrip van de menselijke aanwezigheid in de regio⁹¹ op de overgang van het neolithicum naar de metaaltijden.

3.1.2 Landschap en menselijke invloed

In het onderzoeksgebied Willebroek-Meijerbroek zijn boringen gezet in functie van een multidisciplinair paleo-ecologisch onderzoek. Dit onderzoek heeft meer inzicht gegeven in het voormalige landschap, waarbij speciale aandacht uitging naar bewijzen voor mogelijke bewoning op een kronkelwaardrug alvorens dit landschap verdronk. Een geulensysteem dat de kronkelwaardrug flankeert en in tweeën heeft gedeeld, heeft hierbij zeer waardevolle informatie opgeleverd.

De opdeling van de kronkelwaardrug in het onderzoeksgebied in een oostelijke rug en een hoger gelegen westelijke rug was in het midden-neolithicum al een feit. Het precieze ontstaan van deze zijgeul en het begin van de opvulling ervan kon niet achterhaald worden, aangezien de onderzijde van de geulsedimenten ontbrak in de beschikbare boring. Zeker is dat dit vóór de periode 3655-3523 v.Chr. moet zijn geweest. Deze vermoedelijke geul tussen beide ruggen verlandde gedurende ruim een millennium, tot de periode 2450-2138 v.Chr. en is daarmee een belangrijk archief gebleken voor landschappelijke veranderingen in het laat- en finaal-neolithicum.

In het laat-neolithicum is de kronkelwaardrug en de directe omgeving zeer sterk bebost. Afhankelijk van diverse milieuomstandigheden, waarbij rivierdynamiek een belangrijke rol speelt, ontwikkelden zich verschillende bostypen, waaronder hardhoutoibossen met bomen zoals eik, iep, hazelaar, es en linde, terwijl zich op meer dynamische plekken die frequenter overstromen zachthoutoibossen vormden waarin wilg domineert. Op plekken die eveneens

⁸⁸ WALLINGA et al. 2025.

⁸⁹ PERDAEN & WOLTINGE 2023.

⁹⁰ BOGEMANS et al. 2010; MEYLEMANS et al. 2014.

⁹¹ MEYLEMANS & DILS 2014.

nat zijn, en waar water stagneert, waren elzenbroekbossen te vinden waarin els de belangrijkste component vormt. Het lokale voorkomen van zwarte els wordt bevestigd door de vondst van diverse macroresten van deze boom. Na de periode 3300-2900 v.Chr. is er sprake van een sterke afname in iep, één van de belangrijke boomsoorten in de hardhoutooibossen. Mogelijk staat dit in verband met de *elm decline* die ook elders in Noordwest-Europa is waargenomen, maar waar nog geen eenduidige verklaring voor is. Voor het laat-neolithicum is het bewijs voor menselijke invloed zeer beperkt in de boringen. Op een enkele stuifmeelkorrel van het gerst/tarwe-type na, zijn er nauwelijks antropogene indicatoren aanwezig in de zijgeul. Ook in de top van de ruggen zijn geen resten van cultuurgewassen of andere consumptie-indicatoren zoals verkoold parenchym aanwezig.

In het finaal-neolithicum was er sprake van een lichte opening van de bossen op de hoge, drogere gronden, met daarin een nieuwkomer: beuk. Opvallend genoeg zijn er twee niveaus met een meer geprononceerde terugval in bosareaal. Of dit te herleiden is op veranderingen in tijd of in de ruimte is niet zeker, maar wat opvalt, zijn de pieken in schimmel HdV-361, een indicator voor erosie. Het is goed mogelijk dat er bos is vrijgemaakt of anderszins boomvegetatie is afgestorven. Bomen houden met hun wortels grond vast. Het is goed denkbaar dat door het verdwijnen van bomen het gebied erosiegevoeliger werd. Direct volgend op deze niveaus is er juist een toename in de hoeveelheid mestschimmels zichtbaar. Wellicht hangt dit samen met een verjonging van de vegetatie, hetgeen aantrekkelijk was voor dieren. Zachthoutooibossen en elzenbroekbossen waren op de nattere delen van het landschap, die regelmatig overstromden, nog altijd belangrijke vegetatietypen. Menselijke invloed lijkt in het finaal-neolithicum goed merkbaar. Opvallend is de aanwezigheid van stuifmeel van granen (gerst/tarwe-type en tarwe-type) in de niveaus met de erosie-indicatoren. Aangezien in één van deze niveaus de top van de westelijke rug nog niet is verdrongen, is het goed denkbaar dat dit een geschikte plek bood voor akkerbouw. Op het andere niveau is de top nét verdrongen. Het is niet uitgesloten dat er materiaal van de top van de zojuist verdrongen rug in de basis van het (vermorsings)veen terecht is gekomen of dat men op een andere nabijgelegen hoge plek buiten het onderzoeksgebied heeft geakkerd.

Na het opvullen van het gebied tussen de ruggen, verdrong ook de top van de westelijke rug in het finaal-neolithicum. Hooguit enkele eeuwen later vond er een reactivatie plaats van de geul ten noorden van de kronkelwaardrug, waarna deze zich vanaf 2193-1950 v.Chr. opvulde. Eerst met grof materiaal, wat een hoger energetisch niveau illustreert, en daarna heersten er rustigere omstandigheden, waarbij organisch materiaal van de vegetatie in en om de noordelijke (rest)geul accumuleerde. Tussen 1741 en 1518 v.Chr. is deze geul opgevuld geraakt. De geulvulling geeft daarmee een kijk in het landschap en het gebruik ervan vanaf de overgang van het neolithicum tot in de midden-bronstijd.

Hoewel de bossen nog altijd een belangrijke rol zullen hebben gespeeld gedurende de vroege en midden-bronstijd, was er sprake van een verdere opening van het landschap. De afname van droge bossen lijkt niet enkel toegeschreven te moeten worden aan het verdwijnen van hoge, droge gronden, maar lijkt ook het gevolg te zijn van menselijk handelen. Adelaarsvaren, een indicator voor het verdwijnen van 'oud' bos, breidde zich uit, maar de (talrijke) aanwezigheid van pollen van beuk en linde laten zien dat er nabij de noordelijke geul nog altijd droge plekken geweest moeten zijn. Bossen met beuk en linde konden een behoorlijk gesloten karakter hebben. Graslanden zijn een belangrijker vegetatietype geworden in de omgeving. Deze graslanden werden extensief beheerd, zo blijkt uit de soortensamenstelling. Er zijn indicatoren voor de aanwezigheid van dieren in de vorm van mestschimmels aangetroffen.

Het natuurwetenschappelijk onderzoek aan materiaal uit de boringen heeft zeer waardevolle landschappelijk informatie prijsgegeven. Het landschap blijkt, zowel onder invloed van de rivieren alsook de mens, veranderingen te hebben doorgemaakt die meer inzicht geven over de mogelijkheden voor bewoning van dit gebied met al haar facetten. Hoewel bewoning op de rug zelf niet direct kon worden aangetoond, is het wel aannemelijk dat er menselijke

activiteiten op of in de directe omgeving plaatsvonden. Deze activiteiten zijn vanaf het finaal-neolithicum merkbaar en zijn vooral in de vroege/midden-bronstijd prominent.

3.2 Confrontatie met resultaten archeologisch onderzoek

Op basis van de eerste resultaten van het archeologisch booronderzoek werd voor Willebroek-Meijerbroek uitgegaan van een herhaaldelijk bezochte prehistorisch vindplaats waarvan de oudste fases mogelijk teruggingen tot het (vroeg-)mesolithicum. Het in het kader van huidige nota uitgevoerd natuurwetenschappelijk en daterend onderzoek heeft dit beeld in belangrijke mate bijgesteld. Gezien de relatief jonge genese van het kronkelwaardsysteem is menselijke aanwezigheid in het onderzoeksgebied voor het laat-neolithicum weinig waarschijnlijk. Het opgeboorde vondstmateriaal (m.n. vuursteen, verbrand bot en verbrande leem/aardewerk) moet dan ook in een relatief korte periode aan het eind van het neolithicum worden gedateerd. Tegen het finaal-neolithicum is de oostelijke kronkelwaardrug namelijk reeds verdrongen en kort daarna gaat ook de westelijke rug kopje onder. Op dat moment zijn er aanwijzingen voor kleinschalige akkerbouw in de buurt, maar op de kronkelwaardruggen zelf zijn geen akkertjes aangelegd. Ook sporen van bewoning ontbreken. Voor beide zijn in het micromorfologisch onderzoek geen aanwijzingen gevonden. Het is pas vanaf het begin van de bronstijd dat de menselijke invloed in het gebied steeds duidelijker wordt met o.m. houtkap, akkerbouw, extensief beheerde graslanden en vermoedelijk ook veeteelt.

Bovenstaande resultaten sluiten zeer mooi aan bij het voor Mechelen-Zennegat⁹² geschetste beeld; een site zo'n 2,5 km verder stroomopwaarts nabij de monding van de Zenne in de Dijle. Op basis van de materiële resten ligt het zwaartepunt van de menselijke aanwezigheid daar, net als in Willebroek-Meijerbroek, in het laat-/finaal-neolithicum en de vroege-bronstijd. In de pijlbewapening zijn vooral transversaalspitsen, en gesteelde en gevleugelde pijlpunten te herkennen. Onder het aardewerk komen met name late klokbekers voor. Het merendeel van het ingezamelde botmateriaal is afkomstig uit een fluviatiel pakket dat op basis van een bulkmonster en een graankorrel omstreeks 1870-1620 v.Chr. is gedateerd. Het gevarieerde botspectrum wijst op veeteelt (rund, varken, schaap/geit), maar ook op jacht op waterwild (eend, smient, bever) en visvangst (karper, paling, brasem, baars). Op basis van het pollenonderzoek aan de geulsedimenten is er op dat moment ook sprake van beperkte akkerbouw in het gebied. Met andere woorden, het gaat hier om een zeer gediversifieerde economie.

Vanaf het midden- en met name in het laat-/finaal-neolithicum is een belangrijke toename van het aantal vindplaatsen in het Mechelse rivierengebied te zien.⁹³ Een patroon dat ook voor de rest van Vlaanderen lijkt op te gaan.⁹⁴ Vanaf het midden-neolithicum is er namelijk een kentering in het landbouwsysteem van een meer sedentaire landbouw binnen zgn. *Siedlungskammer* naar een meer mobiele landbouw waarbij *slash-and-burn* en veeteelt een veel grotere rol gaan spelen.⁹⁵ Eens het primaire bos is gerooid is het veel gemakkelijker om de percelen landbouwrijp te maken aangezien de secundaire begroeiing bijna integraal kan worden afgebrand; wat op zijn beurt bijdraagt tot de fertiliteit van de bodem en de groei van 'onkruid' onderdrukt. Een manier van werken waarvoor o.m. in Heindonk-Tien Vierendelen aanwijzingen zijn gevonden.⁹⁶

De plaatsen waar het bos regenereert zijn dan weer uitermate geschikt voor het laten grazen en voederen van het vee/huisdieren. In het licht van bovenstaande zou de aanwezigheid van

⁹² MEYLEMANS et al. 2011; MEYLEMANS et al. 2014.

⁹³ MEYLEMANS & DILS 2014

⁹⁴ CROMBÉ & VANMONTFORT 2007; zie ook VAN MALDEGEM et al. 2024.

⁹⁵ SHENNAN 2018, pp. 152-157.

⁹⁶ PERDAEN & WOLTINGE 2023, p. 38.

klimopzaadjes in de archeologische boormonsters in Willebroek-Meijerbroek (m.n. VAB 23)⁹⁷ kunnen wijzen op het inzamelen van bladeren van klimop - een tijdens het neolithicum frequent gebruikt wintervoeder⁹⁸ - en indirect op de aanwezigheid van vee in de buurt van het onderzoeksgebied.

Daarnaast oefenden dergelijke open plaatsen ook een belangrijke aantrekkingskracht uit op wilde grazers, die zich net als het vee tegoed willen doen aan de jonge, regenererende plantenscheuten, en op deze manier een gemakkelijk mikpunt vormde voor de jagende boeren.

Eén van de plantensoorten die meeprofitteerde van deze nieuw gecreëerde open plekken in het bos is de hazelaar, een licht minnende soort die van bosranden en dergelijke houdt. De hazelaar is dan ook een vaste waarde in de pollenspectra van dergelijke secundaire bossen. Het hoeft bijgevolg niet te verwonderen dat bij archeologisch onderzoek - niet alleen van steentijdvindplaatsen - regelmatig verkoolde hazelnootdoppen worden aangetroffen die op basis van ¹⁴C-onderzoek uit de tweede helft van het neolithicum dateren⁹⁹. Dit was onder meer het geval in Heindonk-Tien Vierendelen.¹⁰⁰ En gezien de datering van het kronkelwaardsysteem is dit vermoedelijk ook het geval voor de in Willebroek-Meijerbroek opgeboorde hazelnootdoppen (VAB 6, VAB 18, WAB 36).¹⁰¹ In het vondstenmateriaal van deze vindplaatsen met hazelnootdoppen zijn niet altijd duidelijke aanwijzingen te vinden voor een neolithische aanwezigheid.

3.3 Onderzoeksvragen: antwoorden

- **Wat is de genese en ouderdom van de onderscheidbare bodemkundige en geologische lagen?**

In het onderzoeksgebied zijn de resten van een kronkelwaardsysteem met bijbehorende ruggen en geulen aangeboord. De OSL-dateringen uit de top van de beide kronkelwaardruggen laten zien dat de kronkelwaard, zich relatief kort voor de vorming van het veen in het geulensysteem heeft gevormd. Het OSL-resultaat voor de oostelijke kronkelwaardrug (B.1011B) is ca. 6.0 ± 0.2 uncal. BP. Het resultaat voor de westelijke rug (B.1003B) is iets jonger; ca. 4.8 ± 0.3 uncal. BP. Op basis van de ¹⁴C-dateringen aan veen uit de zijgeul moet de scheiding van de beide ruggen al in of vóór het midden-neolithicum een feit zijn geweest. Wanneer de opvulling van de zijgeul van start is gegaan, is onduidelijk aangezien de onderzijde van de zijgeulvulling in B.1016 niet is bemonsterd, maar dit zal zeker enkele eeuwen eerder zijn geweest. De opvulling van de noordelijke geul (B.1008) startte rond de overgang van het finaal-neolithicum naar de vroege bronstijd (vermoedelijk omstreeks 2144-1950 v.Chr.). Wanneer deze geul zich heeft gevormd en actief is geweest is minder duidelijk. Wat wel vaststaat, is dat de noordelijke geul in de eerste helft van de midden-bronstijd (waarschijnlijk tussen 1700 en 1518 v.Chr.) geheel was opgevuld.

- **Hoe kaderen de bevindingen omtrent de opbouw en de genese van de bodem binnen de kennis over het ruimere paleolandschap?**

Op het moment van de vorming van de kronkelwaard in het onderzoeksgebied is op vele plaatsen in het Scheldebekken nog sprake van een verdere opvulling van de paleo-geulen met veen en klei.¹⁰² Daarnaast is er ook reeds fluviatiele activiteit buiten

⁹⁷ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, p. 42.

⁹⁸ DEFORCE et al. 2013.

⁹⁹ Zie o.m. DEPAEPE et al. 2022, pp. 109-110; DEVRIENDT & DE HERDT 2024, pp. 340-341; DE HERDT & DEVRIENDT 2025, pp. 127-129.

¹⁰⁰ PERDAEN & WOLTINGE 2023, p. 103.

¹⁰¹ OP DE BEECK et al. 2022, VvR, pp. 37 en 59.

¹⁰² BOGEMANS et al. 2012; MEYLEMANS et al. 2013.

deze geulen. De brede laatglaciale bedding vormt stilaan overal een vallei waarin één of meerdere kleine riviertjes stroomden. Deze evolutie wordt zeer mooi geïllustreerd door huidig onderzoek.

- **Was de kronkelwaardrug reeds tijdens de prehistorische occupatie aanwezig? Of heeft deze een deel van de vindplaats opgeruimd?**

De resultaten van het archeologisch en natuurwetenschappelijk onderzoek laten zien dat er slechts een beperkte prehistorische aanwezigheid was op de beide kronkelwaardruggen in het onderzoeksgebied. Duidelijke aanwijzingen voor bewoning of akkerbouw zijn er niet. Mogelijk is die er wel op de hoger gelegen terreinen in de buurt. Tijdens de vorming van het kronkelwaardsysteem en de laterale migratie zullen oudere fluviatiele structuren zijn opgeruimd. Of hierop prehistorische occupaties aanwezig waren, is moeilijk te zeggen, maar gezien de resultaten van het Sigma-onderzoek¹⁰³ is dit niet onwaarschijnlijk.

- **Wanneer heeft de rug zich gevormd?**

De OSL-dateringen uit de top van de beide zandruggen laten een consistent beeld zien van een relatief jonge kronkelwaard, die relatief kort voor de vorming van het veen in het geulensysteem is gevormd (als het geulensysteem actief is). Het resultaat voor de oostelijke zandrug (B.1011B) is ca. 6.0 ± 0.2 duizend jaar geleden. Het resultaat voor de westelijke zandrug (B.1003B) is iets jonger; ca. 4.8 ± 0.3 duizend jaar.

- **Was de kronkelwaard geschikt voor menselijke bewoning?**

Het archeologisch en natuurwetenschappelijk onderzoek wijst op menselijke aanwezigheid op en in de buurt van de kronkelwaard aan het eind van het neolithicum en het begin van de bronstijd. Bewijzen voor bewoning of het in cultuur brengen van de kronkelwaardrug in het onderzoeksgebied zijn er niet. Op basis van het micromorfologisch onderzoek lijkt het erop dat de kronkelwaardrug begroeid moet zijn geweest, maar daarnaast is er ook sprake van regelmatige overstromingen en geleidelijke accumulatie van klei. Mogelijk heeft dit de kronkelwaard minder geschikt gemaakt voor menselijke bewoning.

- **Is er sprake van erosie? Op basis van de afdekking met veen en klei gaan we er van uit dat de top gaaf bewaard is gebleven, maar is dit wel zo?**

In de beide micromorfologisch bestudeerde niveaus zijn geen hiaten aanwezig, zoals afwijkende korrelgroottes of scherpe laagovergangen, die duiden op erosieve omstandigheden. Op macroniveau is in de beide boorkernen zichtbaar dat de sedimenten die vlak boven de bemonsterde niveaus liggen een aflopend profiel in de korrelgrootte hebben. Dit houdt in dat sediment onder steeds rustigere afzettingssomstandigheden werd aangevoerd en ook daar geen erosie heeft plaatsgevonden. Er zijn daarnaast ook geen aanwijzingen voor menselijke invloed, bijvoorbeeld onder de vorm van het gecombineerd voorkomen van houtskoolresten en slompkorsten die op de aanwezigheid van een akkerlaag kunnen wijzen.¹⁰⁴ De aanwezigheid van 'heldere' kleihuidjes rondom de zandkorrels in de top van de kronkelwaard maakt duidelijk dat de kleiafzetting van waaruit de kleiuitspoeling plaatsvond, begroeid was met vegetatie. De klei is mobiel geworden door de natuurlijke verzurende omstandigheden die wortels in samenwerking met schimmels creëren. Deze scheidden namelijk zuren af om voedingsstoffen los te maken uit de bodem. Hierdoor verlaagt de pH-waarde van de bodem en wordt klei 'mobiel'. Gezien de geringe dikte van de kleihuidjes heeft de bodem in bodemkundige termen op geen enkel moment langdurig aan het oppervlak gelegen. Er is hier dus sprake van een

¹⁰³ Zie o.m. PERDAEN et al. 2008; PERDAEN et al. 2009; JACOPS et al. 2010.

¹⁰⁴ VAN KAPPEL 2022.

opbouwend bodemprofiel, waarbij met tussenpozen ‘dunne’ laagjes kleihoudend sediment werden afgezet.

- **Hoe was het landschap en de vegetatie voor, tijdens en na de perioden waarvoor menselijke aanwezigheid in het plangebied wordt verondersteld?**

De bewijzen voor menselijke aanwezigheid in het onderzoeksgebied zijn al bij al beperkt. Van een nederzetting is geen sprake. Bovendien is het niet mogelijk de schaarse archeologische resten precies te dateren. Op basis van het daterend en natuurwetenschappelijk onderzoek worden ze aan het eind van het neolithicum en het begin van de bronstijd gesitueerd.

In het laat-neolithicum is het gebied nog zeer bosrijk. Slechts zo'n 10% van het pollen en de sporen van de regionale vegetatie is afkomstig van kruiden. Onder deze kruiden zijn boskruiden opvallend aanwezig. Het gevarieerde spectrum doet vermoeden dat er verschillende bostypen tot ontwikkeling zijn gekomen in de omgeving. Gezien de ligging van het onderzoeksgebied in de alluviale vlakte van de Durme, zullen alluviale bossen, zoals oobossen en broekbossen, kenmerkend zijn geweest voor de vegetatie. Op zandige bodems die slechts zeer incidenteel overstromen (hooguit enkele dagen per jaar tot eens in de 15-20 jaar), zoals hoger gelegen ruggen en wallen, kon een hardhoutoobos tot ontwikkeling komen met soorten zoals gewone es, gladde iep of zomereik, maar ook soorten zoals hazelaar en els komen in een dergelijk bos voor. Op de meer frequent en langdurig overstroomde plekken kwam een zachthoutoobos (of wilgenvloedbos) tot ontwikkeling. Zo'n bos bestaat voornamelijk uit smalbladige wilgensoorten zoals schietwilg, kraakwilg en bittere wilg. Op plekken met langdurig stagnerend oppervlaktewater zullen dan weer elzenbroekbossen het dominante vegetatietype zijn geweest.

In het finaal-neolithicum is er sprake van een enige opening van de bossen op de droge gronden. Dit laat zich zien in een afname van het pollen van eik en een toename van het pollen van hazelaar, een lichtminnende boomsoort die vaak langs bosranden en op open plekken voorkomt. Ook beuk verschijnt vanaf dit moment in het pollenspectrum. Wat de zachthoutoobossen betreft blijft wilg de dominante boomsoort. Als gevolg van de toenemende vernatting kunnen de elzenbroekbossen zich steeds verder uitbreiden. De aanwezigheid van heel wat schimmels lijkt er bovendien op te wijzen dat heel wat boomsoorten die minder goed tegen deze vernatting kunnen afsterven.

Aan het begin van de bronstijd neemt het percentage boompollen van droge gronden verder af, maar is met 78% nog altijd hoog te noemen. Het geeft aan dat het gebied nog steeds behoorlijk sterk bebost is. Dit sluit aan bij de vondst van diverse sporen van adelaarsvaren. Adelaarsvaren is een plant van bosranden op zure zandgronden, die met name uitbreidt op plekken waar bos recentelijk is verdwenen. Nog steeds bijzonder talrijk is het pollen van eik (31%), hazelaar (28%) en linde (11%). Andere bomen die voorkwamen op de droge tot vochtige plekken die slechts sporadisch werden blootgesteld aan overstromingen, zijn berk (5%), iep (3%), den (2%), gewone vlier (1%), beuk, sporkehout en Gelderse roos. In gemengde eikenbossen, die verwacht kunnen worden op de hoger gelegen donk meer naar het zuiden, komen deze soorten eveneens voor. Daar zullen ook soorten zoals eik, linde en beuk hebben gestaan. Els (128%), es (6%), wilg (3%) en populier (0,4%) zullen op de lager gelegen, natte plekken te vinden zijn geweest. Het aandeel pollen van wilg van 3% duidt nog altijd op lokaal voorkomen.

In de midden-bronstijd is het boompollenpercentage teruggelopen tot 56-65%, wat aangeeft dat er sprake is van een behoorlijke terugval in het bosareaal. Dit sluit goed aan bij de toename in het aandeel sporen van adelaarsvaren. Het zijn met name de hardhoutoobossen die behoorlijk gereduceerd zijn geraakt. Beuk lijkt zich gedurende de bronstijd te hebben uitgebreid in het landschap. Beuk is net zoals linde een boom die veel schaduw kan creëren. Hieruit kan geconcludeerd worden dat – hoewel het bosoppervlak is teruggedrongen ten opzichte van het neolithicum en de vroege

bronstijd – de bossen her en der een tamelijk gesloten karakter hadden. Els is nog altijd zeer talrijk aanwezig, wat erop duidt dat er ook in de midden-bronstijd nog altijd sprake was van elzenbroekbossen in de omgeving.

- **Welke conclusies kunnen er op basis van de archeobotanische en archeozoologische resten worden getrokken met betrekking tot de exploitatie van het landschap, de voedselvoorziening of het specifiek gebruik van de aangetroffen resten?**

Tijdens het archeologisch booronderzoek zijn enkele verkoolde en niet-verkoolde resten van hazelnootdoppen en klimop aangetroffen die op de exploitatie van het landschap zouden kunnen wijzen (bijvoorbeeld het inzamelen van wintervoeder), maar ook een natuurlijke oorsprong kunnen hebben. Bij het macrorestenonderzoek van de top van het zand van beide ruggen zijn geen verkoolde graankorrels aangetroffen of andere resten die zouden kunnen duiden op (menselijke) consumptie (zoals verkoold parenchym). Ook zijn er geen houtskoolconcentraties gevonden, (verbrand) botmateriaal of aardewerkfragmenten. De aangetroffen zaden van grote/bleke klaproos, een akkerplant, bleken door de aanwezigheid van kiemwit (endosperm) van (sub)recente aard en zijn dus niet indicatief voor akkerbouw in het neolithicum. In de zandruggen zijn ook diverse (sub)recente wortelfragmenten aangetroffen (B.1002, B.1005, B.1008, B.1012 en B.1014) zoals die van paardenstaart, die notoir diep wortelt. Directe aanwijzingen voor de exploitatie van het gebied zijn er in de archeobotanische resten dus niet.

- **Hoe verhouden de aangetroffen archeologische resten en/of indicatoren zich tot de gekende archeologische site(s) in de regio?**

De resultaten van huidig onderzoek vormen in de eerste plaats een aanvulling op het onderzoek in Mechelen-Zennegat; een vindplaats met een vergelijkbare datering.¹⁰⁵ Bij het onderzoek daar zijn heel wat archeologische resten aan het licht gekomen (vuursteen, aardewerk, dierlijk bot), maar is het palynologisch luik van het onderzoek net als het macrorestenonderzoek minder sterk uitgewerkt. Daarnaast zijn in het Mechelse rivierengebied nog heel wat andere sites uit de tweede helft van het neolithicum en/of het begin van de metaaltijden gekend. Ze tonen het belang van deze sterk dynamische, alluviale gebieden voor vroege landbouwgemeenschappen.

- **Welke aanvullende kennis ten opzichte van voornoemde site(s) is verkregen uit huidig onderzoek?**

Met betrekking tot de site van Heindonk-Tien Vierendelen heeft het huidige onderzoek slechts een beperkte bijdrage geleverd. De kronkelwaard in Willebroek-Meijerbroek heeft zich pas gevormd op het moment dat de bewoning daar op zijn eind liep. Voor de vindplaatsen die dateren uit de tweede helft van het neolithicum en het begin van de bronstijd (bijv. Mechelen-Zennegat, Heindonk-Kleine Bergen of de baggervondsten uit de Dijle) is wel heel wat relevante informatie aan het licht gekomen. Voor het Mechelse rivierengebied werd tot nu toe een zeer globaal beeld opgehangen bestaande uit een sterk bebost landschap met in de lagere, nattere delen een (elzen)broekbos dat zich steeds verder uitbreidde onder invloed van de toenemende vernatting van het gebied. Het onderzoek in Willebroek-Meijerbroek maakt duidelijk dit beeld enige nuance vraagt. In het gebied kwamen verschillende bostypes voor. De samenstelling van het bostype was afhankelijk van de frequentie waarmee het onder water liep. Er waren de hardhoutooibossen die slechts sporadisch werden overspoeld en gekenmerkt werden door een gevarieerd, gemengd loofbos (es, iep, zomereik en hazelaar). Er zijn de zachthoutooibossen die regelmatig geconfronteerd werden met overstromingen en in hoofdzaak uit smalbladige wilgensoorten bestonden en de natte broekbossen met overwegend els. Het aandeel van deze verschillende types bos

¹⁰⁵ MEYLEMANS et al. 2011; MEYLEMANS et al. 2014.

evolueert samen met de rivieren en de ontwikkeling van de overstromingsvlakte. Het is inderdaad zo dat het bosaandeel tot in de vroege/midden-bronstijd aanzienlijk blijft. Aan het eind van het neolithicum zijn er wel reeds tekenen dat het bos op de drogere gronden begint open te breken, maar desondanks blijft het in belangrijke mate zijn gesloten karakter behouden (het aandeel aan beuk stijgt zelfs). De menselijke impact op dit landschap wordt langzaam maar zeker wel steeds duidelijker. Er is in toenemende mate pollen aanwezig van het gerst/tarwe-type. Daarnaast komen steeds meer (indirecte) indicatoren voor (bijv. bijvoet/alsem, brandnetel, smalle weegbree, adelaarsvaren, struikhei of ascosporen van mestschimmels) die in combinatie met elkaar wijzen op de exploitatie van het gebied (houtkap, akkerbouw en/of veeteelt). Het is duidelijk dat het rivierengebied gekenmerkt wordt door een breed-spectrum economie waarbij zowat alle aanwezige bos- en landschapstypes door de mens werden geëxploiteerd.

4 Samenvatting

Naar aanleiding van een omgevingsvergunningsaanvraag voor stedenbouwkundige handelingen voor het plangebied *Willebroek, Meijerbroek* werd door BAAC Vlaanderen een archeologietraject opgestart. De initiatiefnemer plant het uitgraven van een eutrofe plas waarbij een uitgraving voorzien is van maximaal 4 m op het diepste punt van de plas en dit voor een oppervlakte van ca. 5.500 m².

Naast een uitgebreid bureau- en geofysische onderzoek¹⁰⁶ werd vervolgens ook een landschappelijk bodemonderzoek, en een verkennend en waarderend archeologisch booronderzoek uitgevoerd¹⁰⁷. Het uitgevoerde vooronderzoek maakte duidelijk dat in het plangebied een begraven kronkelwaardrug aanwezig was met hierin de resten van een goed bewaard gebleven prehistorische vindplaats. In de top van een kronkelwaardrug waren naast vuursteen, gecalcineerd bot en verkoolde hazelnootdopen ook aardewerkfragmenten en niet-verkoolde macroresten aanwezig. Deze vondsten bieden een uitzonderlijke inkijk in het (a)biotisch landschap en de exploitatie ervan ten tijde van de prehistorische occupatie. Het potentieel op kennisvermeerdering is met andere woorden bijzonder groot.

Onder normale omstandigheden is de voor de hand liggende volgende stap in het archeologietraject een waarderend proefputtenonderzoek gevolgd door een opgraving. Echter, de bijzondere omstandigheden lieten een dergelijke aanpak niet toe. Om het verlies aan kenniswinst toch enigszins te beperken werd daarom overgegaan tot een alternatieve aanpak, waarbij niet langer werd ingezet op het inzamelen van archeologische resten maar op het paleolandschappelijk kader waarbinnen de vindplaats gelegen is. Hiervoor zijn in het plangebied een aantal mechanische boringen gezet die uitgebreid bemonsterd zijn voor paleo-ecologisch, micromorfologisch, sedimentologisch en daterend onderzoek. De analyse en presentatie van de resultaten vormen het onderwerp van huidige nota.

Het multidisciplinair paleo-ecologisch onderzoek heeft heel wat inzicht gegeven in het voormalige landschap. Speciale aandacht ging uit naar bewijzen voor mogelijke bewoning op de kronkelwaardrug alvorens dit landschap verdronk. Het geulensysteem dat de kronkelwaardrug flankiert en in tweeën heeft gedeeld, heeft hierbij zeer waardevolle informatie opgeleverd. Het landschap blijkt, onder invloed van mens en rivieren, veranderingen te hebben doorgemaakt die meer inzicht geven over de mogelijkheden voor bewoning van dit gebied met al haar facetten. Hoewel bewoning op de rug zelf niet kon worden aangetoond, is het wel aannemelijk dat er menselijke activiteiten op of in de directe omgeving plaatsvonden (o.m. houtkap, akkerbouw en/of veeteelt; cf. Heindonk-Tien Vierendelen of Mechelen-Zennegat). Deze activiteiten zijn vanaf het finaal-neolithicum merkbaar en zijn vooral in de vroege/midden-bronstijd prominent.

¹⁰⁶ ZWITSER & SAELENS 2021.

¹⁰⁷ OP DE BEECK et al. 2022.

5 Lijsten

5.1 Figurenlijst

Figuur 1: Toekomstige inplanting.....	9
Figuur 2: Doorsnede van de toekomstige inplanting.....	10
Figuur 3: Willebroek-Meijerbroek, boorlocaties weergegeven op DHM zand. De omcirkelde boringen zijn gebruikt voor het natuurwetenschappelijk onderzoek (© BAAC Vlaanderen)....	15
Figuur 4: Profielfoto van de boorkern B.1003A met daarin de bemonsterde zone (blauwe lijn) ten behoeve van micromorfologisch onderzoek (foto: BIAx).....	22
Figuur 5: Profielfoto van de boorkern B.1003A met daarin de bemonsterde zone (blauwe lijn) ten behoeve van micromorfologisch onderzoek (foto: BIAx).....	22
Figuur 6: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1008 gezet ter hoogte van de noordelijke geul, bestaande uit 5 buizen (buis 1 = top, buis 5 = basis) (© BIAx). Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ¹⁴ C, 1 = grijze zandige klei, 2 = beige fijnkorrelige brok, 3 = donkerbruin kleilig zand, 4 = oranjebruin grof zand met humeuze lagen, 5 = organisch materiaal, veel twijgfragmenten (verspoeld?), 6 = oranjebruin zand, 7 = organisch materiaal, veel twijgfragmenten, 8 = grijs en bruin zand (hout op 33 cm), 9 = donkergrijsbruine, zeer humeuze klei, 10 = zand (verstoring?), 11 = donkergrijsbruine zeer humeuze klei met her en der zandige laagjes en een zeer organische laag op 95-96 cm, 12 = zandige klei (verstoring?), 13 = donkerbruin, kleilig fijn zand, 14 = donkergrijsbruine zeer humeuze licht zandige klei, 15 = donkerbruin, kleilig fijn zand, 16 = donkerbruine zeer humeuze zandige klei, 17 = donkerbruine zeer humeuze klei met zandlaagje op 61-62 cm, 18 = donkerbruin zand en humeuze klei (verstoring?), 19 = oranje/donkerbruine zandige zeer humeuze klei (verstoring?), 20 = donkerbruine, zandige, zeer humeuze klei met zandlaagje op 132 cm, 21 = donkerbruine zeer humeuze klei met oxidatievlekken, 22 = donkerbruine zeer humeuze klei, 23 = beigegrijze klei met zwart organisch materiaal in de top (wortels?), 24 = groenbeige/oranje zandige klei, 25 = roodoranje zandige klei, 26 = grijze klei, 27 = oranjebruine fijn lemig zand.....	26
Figuur 7: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1016, gezet ter hoogte van de zijgeul of depressie tussen beide ruggen in, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ¹⁴ C. Het staal uit laag 6 is niet verder uitgewerkt, maar diende ter lokalisering van de top van de geulafzettingen. 1 = donkerbruingrijze zeer humeuze venige klei, 2 = kleilig veen met veel (grote) houtresten, 3 = zeer humeuze klei met plantenresten, 4 = donkerbruine humeuze klei, 5 = grijsbruine humeuze klei met leem, 6 = donkerbruine zeer humeuze klei, 7 = donkerbruingrijze klei (houtschool?), 8 = oranjegrijze klei, 9 = bruingrijze klei met enkele oxidatievlekken, 10 = grijsoranje klei met veel oxidatie, 11 = oranjegrijze klei, 12 = oranjebruine zandige klei.	28
Figuur 8: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1017, genomen ter hoogte van de zijgeul en de flank van de oostelijke rug, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ¹⁴ C, 1 = oranjebeige zand, 2 = oranjebeige kleilig zand (houtschool?), 3 = donkerbruine zandige klei, 4 = donkerbruine licht zandig veen met plantenresten, 5 = donkerbruin veen, 6 = donkerbruin kleilig veen, 7 = donkerbruine zeer humeuze klei, 8 = bruine humeuze klei met leem, 9 = donkergrijze humeuze klei, lichte oxidatie, 10 = oranjegrijze siltige klei met veel oxidatie, 11 = grijze licht siltige klei, lichte oxidatie, 12 = donkeroranjebruin-grijze zandige klei, veel oxidatie.	30
Figuur 9: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1018, gezet op de top van de oostelijke rug, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, gele cirkel = staalname voor onderzoek naar gloeiverlies, blauwe stip = staalname voor granulometrisch onderzoek, 1 = donkergrijs, sterk kleilig zand met harde concreties, 2 = grijs zand, licht kleilig aan de basis, 3 =	

- donkergrijs zand, 4 = donkergrijs zand, sterk gespikkeld, 5 = grijs zand, licht gespikkeld, 6 = bruine, zeer humeuze klei, 7 = grijs fijn zand, 8 = grijs, licht kleiig fijn zand, 9 = donkerbruin kleiig veen, 10 = donkerbruin, licht kleiig veen, 11 = donkerbruine venige klei met plantenresten, 12 = bruine, zeer humeuze klei met plantenresten, 13 = donkerbruinoranje klei, 14 = grijsoranje klei, 15 = oranjebeige siltige klei, 16 = donkergrijsoranje klei, 17 = oranjebruingrijze siltige klei, 18 = oranjegrijze siltige klei, 19 = bruine leem.....32
- Figuur 10: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1012, de middelste boring in een transect van de top van de oostelijke rug richting het zuiden, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = donkergrijs, licht kleiig zand met plantenresten, 2 = donkergrijs sterk kleiig zand, 3 = donkergrijze zandige klei, 4 = donkergrijze klei, 5 = veen, 6 = donkerbruine, zeer humeuze, licht siltige klei, 7 = bruine klei, 8 = grijsbruine klei, 9 = bruinbeige licht siltige klei, 10 = donkeroranjebruine kleiige silt..... 34
- Figuur 11: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1014, de meest zuidelijke boring in een transect van de top van de oostelijke rug richting het zuiden, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = grijs fijn zand met resten Equisetum, 2 = grijze zandige klei, 3 = donkergrijze, zeer humeuze licht zandige klei met stukje (wortel?)hout op 116 cm, 4 = donkergrijsbruine zeer humeuze zandige klei, 5 = bruine zandige klei, 6 = donkerbruine, zeer humeuze klei, 7 = donkerbruin kleiig veen, 8 = donkerbruin veen met houtresten, 9 = donkerbruin kleiig veen, 10 = donkerbruine venige klei, 11 = donkergrijsbruine, licht siltige klei, 12 = grijsbruine klei, 13 = donkergrijsbruine klei, 14 = grijsbruine klei, 15 = beigegrijze siltige klei, 16 = donkerbruine kleiige silt.36
- Figuur 12: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1005, gezet op de top van de westelijke rug, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: x = staalname voor palynologie, witte lijn = staalname voor ^{14}C , groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, gele cirkel = staalname voor onderzoek naar gloeiverlies, blauwe stip = staalname voor granulometrisch onderzoek, 1 = grijs zand, 2 = donkergrijs licht kleiig zand (houtschool?), 3 = donkergrijze zandige klei, 4 = bruine zeer humeuze klei, 5 = donkerbruin kleiig veen, 6 = donkerbruin kleiig veen, 7 = bruingrijze klei, 8 = beigegrijze siltige klei, 9 = bruine siltige klei, zandig naar de top. 38
- Figuur 13: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1002, de middelste boring in een transect van de top van de westelijke rug richting het geulensysteem ten noorden, bestaande uit 2 buizen (buis 1 = top, buis 2 = basis) (© BIAx). Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = beigebruin zand, 2 = grijsbruin kleiig zand, 3 = donkergrijs zand, 4 = bruine zandige klei, 5 = donkergrijze zandige klei, 6 = veen, 7 = bruine klei met leem, 8 = grijsbruin fijn zand (verstoring?), 9 = donkerbruingrijze klei, 10 = grijze klei, lichte oxidatie, 11 = donkergrijze klei (houtschoolaagje? op 122 cm), 12 = oranjegrijze klei, veel oxidatie, 13 = donkeroranje-grijsbruin kleiig zand, oxidatie, 14 = oranjegrijs fijn zand, oxidatie. 40
- Figuur 14: Willebroek-Meijerbroek, laagaanduiding en staalname in boring B.1001, de meest noordelijke boring in een transect van de top van de westelijke rug richting het geulensysteem ten noorden, bestaande uit 5 buizen (buis 1 = top, buis 5 = basis) (© BIAx). Verklaring: groene lijn = staalname voor macrorestenonderzoek, 1 = grijze silt, 2 = geel grof zand, 3 = donkerbruine licht siltige klei, 4 = donkerbruin zeer humeus kleiig zand, fijner naar de top, 5 = bruine kleiige silt/fijn zand, 6 = donkerbruine licht siltige klei, 7 = geel gelaagd grof zand, 8 = houtresten, 9 = grijsbeige grof zand met zeer humeuze (bijna venige) lagen, 10 = grijsbeige zand met minder humeuze lagen dan de onderliggende laag, 11 = grijsbeige gelaagde zand en klei, 12 = groen/grijsbeige fijn zand, 13 = grijsbruin kleiig zand, 14 = donkerbruine zeer humeuze (venige) licht zandige klei, 15 = veen met plantenresten, 16 = bruine venige klei, 17 = donkergrijze klei (gyttja-achtig), 18 = beigegrijze klei met leem, 19 = beigegrijze klei met leem, 20 = oranjebruine klei, 21 = beigegrijze lemige klei, 22 = grijs/roodoranje klei, sterke oxidatie, 23 = grijsbruinoranje sterk siltige klei, 24 = grijze klei, 25 = oranjegrijsbruine lemige klei. 42

Figuur 15: Grondmassa laag 2 B.1011A, voornamelijk bestaand uit de fijne zand fractie (foto met doorvallend licht).....	45
Figuur 16: Grondmassa laag 3 B.1003A, voornamelijk bestaand uit de grove zand fractie (foto met doorvallend licht).....	46
Figuur 17: Grondmassa laag 1 B.1003A, met siltige klei tussen de zandkorrels (foto met doorvallend licht).	46
Figuur 18: Grondmassa laag 1 B.1003A, met siltige klei tussen de zandkorrels (foto met gekruist licht).	47
Figuur 19: Grondmassa laag 1 B.1003A, met zeer dunne kleihuidjes rondom de zandkorrels (foto met gekruist licht, 125x vergroot).	48
Figuur 20: Grondmassa B.1003A, met sideriet (bruine bolletjes) tussen de zandkorrels (foto met doorvallend licht, 125x vergroot).	49
Figuur 21: Grondmassa B.1003A, met sideriet klei tussen de zandkorrels (foto met gekruist licht, 125x vergroot).	49
Figuur 22: Grondmassa laag 2 B1003A, met calciumijzerfosfaten tussen de zandkorrels (foto met doorvallend licht).....	50
Figuur 23: Willebroek-Meijerbroek, resultaten van het textuuronderzoek (linker staafdiagram) en gloeiverlies (rechter staafdiagram) van de westelijke (B.1005, links) en oostelijke rug (B.1018, rechts) (© BIAX).	51
Figuur 24: Willebroek-Meijerbroek, gemiddelde (ononderbroken lijn) en mediaan (stippellijn) van de korrelgrootten in de top van de westelijke (B.1005, zwart) en oostelijke rug (B.1018, blauw) (© BIAX).....	52
Figuur 25: Willebroek-Meijerbroek, foto-opname van het organische pakket met veel twijgmateriaal op een diepte van ca. 37-79 cm in buis 5 van boring B.1008 (© BIAX).....	53
Figuur 26: Willebroek-Meijerbroek, pollendiagram van de regionale vegetatie (© BIAX).	55
Figuur 27: Willebroek-Meijerbroek, pollendiagram van de lokale vegetatie en andere palynomorfen (© BIAX).	56
Figuur 28: Recent hardhoutooibos met zomereik, iep en es in de Ooijpolder aan de Waal (NL). Er is een duidelijke boomlaag, struiklaag en kruidlaag zichtbaar (© BIAX).	58
Figuur 29: Zachthoutooibos (lissen-ooibos) met wilg in de boomlaag in de Bemmelse Waard (NL) (© Cultureel Gelderland).	59
Figuur 30: Elzenbroekbossen kunnen zich ontwikkelen in natte omstandigheden, bijvoorbeeld waar water stagneert na een overstroming (© Jerzy Strzelecki, CC BY-SA 3.0).....	63
Figuur 31: Adelaarsvaren kan zich sterk uitbreiden op plekken waar bos is gekapt, zoals hier in de Ridderoordse bossen te Bilthoven. Door het giftige strooisel dat na de bloei achterblijft, kunnen andere boskruiden zich nauwelijks vestigen (© BIAX).....	66
Figuur 32: In de midden-bronstijd vormden graslanden met daarin weegbree, en in mindere mate ook veldzuring en boterbloem, een belangrijk onderdeel van de vegetatie (© BIAX)....	68

5.2 Plannenlijst

Plan 1: Plangebied op topografische kaart (digitaal; 1:10.000; 02.02.2026)	2
Plan 2: Plangebied op kadasterkaart (GRB) (digitaal; 1:250; 02.02.2026).....	3
Plan 3: Plangebied met schematischweergave van toekomstige inplanting op orthofoto(digitaal; 1:1; 17.01.2023)	8

5.3 Tabellenlijst

Tabel 1: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van het type onderzoek dat is uitgevoerd aan de verschillende boringen	16
Tabel 2: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de palynologische monsters	17

Tabel 3: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de macrorestenmonsters.....	18
Tabel 4: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de monsters voor ¹⁴ C-onderzoek	19
Tabel 5: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de monsters voor gloeiverliesonderzoek (LOI)	20
Tabel 6: Willebroek-Meijerbroek, overzicht van de monsters voor het korrelgrootte (textuur)onderzoek	21
Tabel 7: analyseresultaten B.1003A (tussen 55 en 82 cm).	43
Tabel 8: analyseresultaten B.1011A (tussen 36,5 en 64,5 cm).	44

6 Bibliografie

- ANDERBERG, A.-L., 1994. *Atlas of Seeds and Small Fruits of Northwest-European Plant Species, Part 4: Resedaceae-Umbelliferae*, Stockholm.
- OP DE BEECK, S. et al., 2022. *Nota Willebroek, Meijerbroek. BAAC Vlaanderen Rapport 1942*, Gent.
- BEHRE, K.E., 1981. The interpretation of Anthropogenic Indicators in Pollen Diagrams. *Pollen et Spores*, 23(2), pp.225–245.
- BERENDSEN, H.J.A., 2011a. *De vorming van het land. Inleiding in de geologie en de geomorfologie*, Assen.
- BERENDSEN, H.J.A., 2011b. *Fysisch-geografisch onderzoek. Thema's en methoden*, Assen.
- BERGGREN, G., 1969. *Atlas of Seeds and Small Fruits of Northwest-European flora, Part 2: Cyperaceae*, Stockholm.
- BERGGREN, G., 1981. *Atlas of Seeds and Small Fruits of Northwest-European flora, Part 3: Salicaceae-Cruciferae*, Stockholm.
- BEUG, H.J., 2004. *Leitfaden der pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende gebiete*, München.
- BOGEMANS, F. et al., 2010. *Paleolandschappelijk, archeologisch en cultuurhistorisch onderzoek in het kader van het geactualiseerde Sigmaplan. Sigma-cluster Dijlemonding. VIOE-rapporten*, Brussel.
- BOGEMANS, F. et al., 2012. The evolution of the sedimentary environment in the lower River Scheldt valley (Belgium) during the last 13,000 a BP. *Geologica Belgica*, 15(1–2), pp.105–112.
- CAPPERS, R.T.J., BEKKER, R.M. & JANS, J.E.A., 2006. *Digital seeds atlas of the Netherlands (1e ed.)*, Groningen: Barkhuis Publishing.
- CROMBÉ, P. & VANMONTFORT, B., 2007. The neolithisation of the Scheldt basin in Western Belgium. In A. WHITTLE & V. CUMMINGS, eds. *Going Over. The Mesolithic-Neolithic Transition in North-West Europe*. Oxford: British Academy, pp. 262–285.
- DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN, 2025. Portaal. Available at: <https://www.dov.vlaanderen.be/portaal/>.
- DEFORCE, K. et al., 2013. Wood charcoal and seeds as indicators for animal husbandry in a wetland site during the late mesolithic-early neolithic transition period (Swifterbant culture, ca. 4600–4000 B.C.) in NW Belgium. *Vegetation History and Archaeobotany*, 22(1), pp.51–60.
- DEPAEPE, I. et al., 2022. *Eindverslag Ham Aubruggestraat, BAAC Vlaanderen*

Rapport 2130, Gent.

- DEVRIENDT, I. & DE HERDT, T., 2024. *Eindverslag Opgraving Diepenbeek, Molenstraat. BAAC Vlaanderen Rapport 2719*, BAAC Vlaanderen.
- VAN DER DOOREN, L., 2023. *Archeologienota Willebroek, Meijerbroek (aanpassing). BAAC Vlaanderen Rapport 2391*, Gent.
- ERDTMAN, G., 1960. The Acetolysis Method. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 54, pp.561–564.
- FÆGRI, K., KALAND, P.E. & KRZYWINSKI, K., 1989. *Textbook of pollen analysis* 4th editio., Chichester.
- VAN GEEL, B. et al., 2013. Ascospores of the parasitic fungus *Kretzschmaria deusta* as rainstorm indicators during a late Holocene beech-forest phase around lake Meerfelder Maar, Germany. *Journal of Paleolimnology*, 50, pp.33–40.
- VAN GEEL, B., BOHNCKE, S.J.P. & DEE, H., 1980. A palaeoecological study of an upper Late Glacial and Holocene sequence from “De Borchert”, The Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 31, pp.367–448.
- GEOPUNT VLAANDEREN, 2024. Catalogus. Available at: <https://www.geopunt.be/catalogus>.
- GROSVENOR, M.J. et al., 2017. Human Activity was a Major Driver of the Mid-Holocene Vegetation Change in Southern Cumbria: Implications for the Elm Decline in the British Isles. *Journal of Quaternary Science*, 32, pp.934–945.
- HAWKSWORTH, D.L., VAN GEEL, B. & WILTSHIRE, P.E.J., 2016. The enigma of the *Diporothea* palynomorph. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 235, pp.94–98.
- DE HERDT, T. & DEVRIENDT, I., 2025. *Eindverslag opgraving Wijnegem Turnhoutsebaan. BAAC Vlaanderen Rapport 2980*, Evergem.
- VAN HOEVE, M.L. & HENDRIKSE, M., 1998. *A Study of Non-Pollen Objects in Pollen Slides (ongepubliceerd)*, Utrecht.
- JACOPS, J. et al., 2010. Prospectie- en evaluatieonderzoek in het kader van het Sigmaplan, deel 3. *Notae Praehistoricae*, 30, pp.101–109.
- JONGERIUS, A. & HEINTZBERGER, C., 1975. Methods in soil micromorphology; a technique for the preparation of large thin sections. *Soil survey papers*, 10.
- VAN KAPPEL, K., 2022. *Willebroek, Heindonk-Tien Vierendelen. Bodem-micromorfologisch onderzoek*, Maarssen.
- VAN KAPPEL, K., 2025. *Willebroek Meijerbroek. Een bodem-micromorfologisch onderzoek*, Maarssen.
- KEARNEY, K. & GEAREY, B.R., 2020. The Elm Decline is Dead! Long Live Declines in

- Elm: Revisiting the Chronology of the Elm Decline in Ireland and its Association with the Mesolithic/Neolithic Transition. *Environmental Archaeology*, 29, pp.6–19.
- KONERT, M., 2002. *Pollen Preparation Method, intern rapport VU Amsterdam*, Amsterdam.
- KÖRBER-GROHNE, U., 1991. *Bestimmungsschlüssel für subfossile Gramineen-Früchte (Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 18)*, Hildesheim.
- KÖRBER-GROHNE, U., 1964. *Bestimmungsschlüssel für subfossile Juncus-Samen und Gramineen-Früchte (Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet 7)*, Hildesheim.
- MACPHAIL, R.I. & GOLDBERG, P., 2018. *Applied soils and micromorphology in archaeology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- MAES, B. et al., 2013. *Inheemse bomen en struiken in Nederland en Vlaanderen. Herkenning, verspreiding, geschiedenis en gebruik*, Boom/Amsterdam.
- VAN MALDEGEM, E. et al., 2024. Beyond the sum: evaluating the potential and limitations of analysing Neolithic population dynamics based on fluctuations in radiocarbon dates and sites (Scheldt basin, Northern France and Belgium). *Documenta Praehistorica*, LI, pp.2–26.
- MARKOVSKAJA, S. & TREIGNIENE, A., 2007. A new and rare species of Cryptodelphia and their Brachysporium anamorphs. *Nova Hedwigia*, 84, pp.495–501.
- MEYLEMANS, E. et al., 2014. *Archeologisch evaluatieonderzoek van een prehistorische vindplaats (mesolithicum tot vroege bronstijd) in het Sigma-gebied “Zennegat” (Mechelen, prov. Antwerpen), Onderzoeksrapporten Agentschap Onroerend Erfgoed*, Brussel.
- MEYLEMANS, E. et al., 2011. Evaluatieonderzoek van een steentijd- en vroege bronstijdsite in Mechelen-Zennegat (Antwerpen, B). *Notae Praehistoricae*, 31, pp.239–251.
- MEYLEMANS, E. et al., 2013. Lateglacial and Holocene fluvial dynamics in the Lower Scheldt basin (N-Belgium) and their impact on the presence, detection and preservation potential of the archaeological record. *Quaternary International*, 309, pp.148–161.
- MEYLEMANS, E. & DILS, J., 2014. Mechelen vóór het Mechelen was: mens en landschap tijdens het laatglaciaal en vroeg-holoceen (tussen ca. 14500 en 1800 v.Chr.). *Opgetekend Verleden*, 6, pp.30–47.
- DE MOOR, G. & MOSTAERT, F., 1993. *Geomorfologische kaart van België 1:50000*, Leuven.
- MOORE, P.D., WEBB, J.A. & COLLINSON, M.E., 1991. *Pollen Analysis*, Oxford.

- PERDAEN, Y. et al., 2009. Prospectie en evaluatieonderzoek in het kader van het Sigmaplan, deel 2. *Notae Praehistoricae*, 29, pp.121–129.
- PERDAEN, Y. et al., 2008. Prospectie- en evaluatieonderzoek in het kader van het Sigmaplan in de Wijmeersen (gem. Schellebelle, Oost-Vlaanderen). *Notae Praehistoricae*, 28, pp.125–134.
- PERDAEN, Y. & WOLTINGE, I., 2023. *Heindonk, Tien Vierendelen-Benedendijle Archeologische opgraving, BAAC Vlaanderen Rapport 2422*, Gent.
- PERRY, I. & MOORE, P.D., 1987. Dutch elm disease as an analogue of Neolithic elm decline. *Nature*, 326, pp.72–73.
- PETERS, B., BIJLSMA, R.-J. & MAAS, G., 2021. *Ooibossen, van Ooievaar tot Stroomlijn en verder (Rapport Ontwikkeling+Beheer Natuurkwaliteit-VBNE, OBN-deskundigenteam Rivierenlandschap)*, Driebergen.
- PUNT, W. et al. eds., 2009. *The Northwest European Pollen Flora (I-IX)*, Amsterdam.
- REBLOVA, M. et al., 2020. New insights into the systematics of Bactrodesmium and its allies and introducing new genera, species and morphological patterns in the Pleurotheciales and Savoryellales (Sordariomycetes). *Studies in Mycology*, 95, pp.415–466.
- SCHAMINÉE, J.H.J. et al., 1999. *De vegetatie van Nederland (vijf delen)*, Leiden.
- SHENNAN, S., 2018. *The First Farmers of Europe. An Evolutionary Perspective*, Cambridge: Cambridge University Press.
- STOCKMARR, J., 1971. Tablets with Spores used in Absolute Pollen Analysis. *Pollen et Spores*, 14(4), pp.615–621.
- STOOPS, G.J., 2021. *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*, Ghent.
- STORME, A. et al., 2017. Postglacial evolution of vegetation and environment in the Scheldt Basin (northern Belgium). *Vegetation History & Archaeobotany*, 26, pp.293–311.
- STURLUDOTTIR, S.A. & TURNER, J., 1985. The elm decline at Pawlaw Mire: an anthropogenic interpretation. *New Phytologist*, 99, pp.323–329.
- VANDEKERKHOVE, K., DEFORCE, K. & BASTIAENS, J., 2018. *Historic-ecological position of beech in the area of the Sonian Forest and an overview of beech-forestrelated biodiversity present in the forest (Rapporten van het Instituut voor Natuur-en Bosonderzoek 28)*, Brussel.
- VERBRUGGEN, C., DENYS, L. & KIDEN, P., 1996. Belgium. In B. E. BERGLUND et al., eds. *Palaeoecological Events During the Last 15000 Years: Regional Syntheses of Palaeoecological Studies of Lakes and Mires in Europe*. Chichester, pp. 553–574.

- VERBRUGGEN, F., 2025. *Paleoecologisch onderzoek van geulafzettingen uit het neolithicum en de bronstijd bij een kronkelwaardrug te Willebroek-Meijerbroek. BIAXiaal 1736*, Zaandam.
- VERBRUGGEN, F., 2024. *Voorstel voor selectieadvies Willebroek Meijerbroek: waarderend onderzoek palynologische resten en botanische macroresten (Waarderingsrapport BIAX)*, Zaandam.
- VERBRUGGEN, F. & KUBIAK-MARTENS, L., 2022. *Macrorestenonderzoek en SEM-onderzoek in combinatie met sedimentologisch en daterend onderzoek te Heindonk - Tien Vierendelen, Benedendijle, BIAXiaal 1459*, Zaandam.
- VERBRUGGEN, F. & VAN DER MEER, W., 2021. *Paleo-ecologisch onderzoek van laat-Holoceen veen te Beveren-Schoorhavenweg. BIAXiaal 1414*, Zaandam.
- WALLINGA, J., VERSEDAAL, A. & VAN DEN HENGEL - VOSKUILEN, E., 2025. *Luminescentiedateringsrapport NCL-7524 Willebroek-Meijerbroek*, Wageningen.
- WEEDA, E.J. et al., 1985. *Nederlandse oecologische flora. Wilde planten en hun relaties 1*, Deventer.
- WEEDA, E.J. et al., 1987. *Nederlandse oecologische flora. Wilde planten en hun relaties 2*, Deventer.
- WEEDA, E.J. et al., 1988. *Nederlandse oecologische flora. Wilde planten en hun relaties 3*, Deventer.
- VAN DER WERF, S., 1991. *Bosgemeenschappen (Natuurbeheer in Nederland, deel 5)*, Wageningen.
- WOLF, R.J.A.M., STORTELDER, A.H.F. & DE WAAL, R.W. eds., 2001. *Ooibossen (Boscosystemen van Nederland 2)*, Utrecht.
- YANG, J. et al., 2018. New species in Dictyosporium, new combinations in Dictyocheiropora and an updated backbone tree for Dictyosporiaceae. *MycKeys*, 36, pp.83–105.
- ZWITSER, N. & SAELENS, D., 2021. *Archeologienota Willebroek Meijerbroek. BAAC Vlaanderen Rapport 1741*, Gent. Available at: <https://loket.onroerenderfgoed.be/archeologie/notas/notas/17950>.

7 Bijlagen

- Verbruggen F., 2025. *Paleoecologisch onderzoek van geulafzettingen en veen uit het neolithicum en de bronstijd bij een kronkelwaardrug te Willebroek-Meijerbroek*. BIAxiaal 1736, Zaandam.
- van Kappel K., 2025. *Willebroek Meijerbroek. Een bodem-micromorfologisch onderzoek*, Maarssen.
- Wallinga J., Versendaal A. & van den Hengel-Voskuilen E., 2025. *Luminescentiedateringsrapport, NCL-7524, Willebroek-Meijerbroek*, Wageningen.